



Federação das Indústrias do Estado da Bahia

CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC

Engenharia Elétrica

Trabalho de Conclusão do Curso

Percepção e suas funcionalidades para robô de inspeção em linhas de alta tensão

Apresentada por:

Luciana Moreno Borges
Felipe Cafezeiro Plech

Orientador:

Prof. Marco Reis, M.Eng.

Novembro de 2018

Luciana Moreno Borges
Felipe Cafezeiro Plech

Percepção e suas funcionalidades para robô de inspeção em linhas de alta tensão

Trabalho de Conclusão do Curso apresentada ao , Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário SENAI CIMATEC, como requisito parcial para a obtenção do título de **Bacharel em Engenharia**.

Área de conhecimento: Interdisciplinar

Orientador: Prof. Marco Reis, M.Eng.

Salvador
Centro Universitário SENAI CIMATEC
2018

Resumo

A manutenção de linhas de alta tensão além de ser uma atividade de alto custo é uma prática de alto risco a integridade física do operador. De modo a substituir o trabalho humano em atividades de risco, soluções em robótica estão cada vez mais frequentes por conta da confiabilidade empregada. O Electrical Inspection Robot (ELIR) é um robô para inspeção em linhas de alta tensão através inspeção térmica, o seu sistema de Percepção conta com uma série de sensores e é capaz de disponibilizar ao usuário final todas as ocorrências realizadas durante a missão bem como data, horário e localização. Este trabalho de conclusão de curso descreve a metodologia, conceitos e resultados obtidos durante o desenvolvimento do sistema de percepção do ELIR, o trabalho conta com a participação de estudantes de graduação e doutorado da instituição a fim de promover pesquisa e desenvolvimento na área de robótica.

Palavras-chave: Linhas de transmissão, Inspeção, Robótica, Pontos quentes

Abstract

The maintenance of high voltage lines is a high-cost and dangerous activity for the employee's physical integrity. To replace human performance in risky activities, many robotic solutions are being implemented because of the reliability involved. The Electrical Inspection Robot (ELIR) is a high voltage line inspection robot using thermal imaging, its sensing system has several sensors and is capable of displaying all occurrences detected during the mission and informing the date, time and location of each one. This final course project describes the methodology, concepts and the results obtained during the perception system development. This report counts with undergraduate and doctorate students with the goal to promote development and research on robotics area.

Keywords: Electrical Lines, Inspection, Robotics, Hot Spots

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Objetivos	3
1.1.1	Objetivos Específicos	4
1.2	Justificativa	4
1.3	Requisitos do cliente	5
1.4	Organização do Trabalho de Conclusão do Curso	6
2	Conceito do Sistema	7
2.0.1	Arquitetura de software do sistema de Percepção	8
2.0.1.1	Driver Layer	8
2.0.1.2	Business Layer	9
2.0.1.3	User Interface Layer	10
2.1	Especificação técnica do sistema de Percepção	10
2.2	Desdobramento da função qualidade para as funcionalidades	11
3	Materiais e Métodos	12
3.1	Lista de componentes	12
3.2	Diagramas mecânicos do sistema de Percepção	13
3.2.1	Suporte dos sensores	13
3.3	Modelo esquemático de alimentação e comunicação	14
3.3.1	Diagramas elétricos e eletrônicos	15
3.4	Especificação das funcionalidades	15
3.4.1	Aquisição	16
3.4.1.1	Objetivo	17
3.4.1.2	Dependências	18
3.4.1.3	Premissas	18
3.4.1.4	Saídas	18
3.4.2	Localização	19
3.4.2.1	Objetivo	19
3.4.2.2	Dependências	19
3.4.2.3	Premissas	20
3.4.2.4	Saídas	20
3.4.3	Detecção	20
3.4.3.1	Objetivo	20
3.4.3.2	Dependências	21
3.4.3.3	Premissas	21
3.4.3.4	Saídas	21
3.5	Interface do Usuário	22
4	Resultados	23
4.1	Testes unitários	23
4.1.1	Câmera Térmica	23
4.1.2	Sonar EZ-1	24
4.1.3	Sensor de Proximidade	25
4.1.4	<i>Smart Charger</i>	26

4.1.5	Sensor de Temperatura	27
4.1.6	GPS	27
4.1.7	IMU	28
4.2	Integração no ROS	29
4.2.1	Phidgets	29
4.2.2	Smart Charger	29
4.2.3	Câmera Térmica	30
4.2.4	GPS	31
4.2.5	IMU	31
4.3	Testes integrados	32
4.4	Trabalhos futuros	32
5	Conclusão	33
5.1	Considerações finais	33
A	QFD	34
B	Diagramas mecânicos	39
C	Diagramas eletro-eletrônicos	54
D	Wireframes	66
E	Logbook	68
F	Lista de componentes	69
	Referências	72

Lista de Tabelas

Lista de Figuras

1.1	Faixa de Servidão	2
1.2	Inspeção de uma linha de transmissão	2
1.3	Delta III - UAV para inspeção de LT	3
2.1	Arquitetura Geral da Perception	8
2.2	Arquitetura Geral da Perception	9
3.1	Lista de materiais utilizados no sistema de Percepção do robô ELIR	13
3.2	Prateleira para suporte dos componentes eletrônicos	14
3.3	Prateleira para suporte com sensores	15
3.4	Prateleira para suporte dos componentes de alimentação	16
3.5	Fluxograma da Funcionalidade Aquisição	17
3.6	Nível de criticidade dos sensores	18
3.7	Fluxograma da Funcionalidade Localização	19
3.8	Fluxograma da Funcionalidade Detecção	21
4.1	Lepton LWIR	23
4.2	Mensagem do frame da câmera	24
4.3	Esquemático do <i>Frame</i> da Câmera Térmica	24
4.4	Sonar EZ-1	25
4.5	Sensor de proximidade E18-D80NK	26
4.6	Protocolo de comunicação do <i>Smart Charger</i> e das baterias	26
4.7	Sensor de Temperatura LM35	27
4.8	GPS Piksi v2.3.1	28
4.9	IMU Xsens Mt-1	28
4.10	Mensagem entre a Nucleo L432KC e o nó referente às baterias	30
4.11	Esquemático do processamento da imagem	31
C.1	Esquemático Geral	55
C.2	Esquemático - Smart Charger	56
C.3	Esquemático - Placa de Gerenciamento de Energia	57
C.4	Esquemático - NUC	58
C.5	Esquemático - Phidgets	59
C.6	Esquemático - STM32F401RE e FLIR LWIR Camera	60
C.7	Esquemático - ZED Camera	61
C.8	Esquemático - HUB dos Atuadores 1	62
C.9	Esquemático - HUB dos Atuadores 2	63
C.10	Esquemático - HUB dos Atuadores 3	64
C.11	Placa de Alimentação dos Sensores de Proximidade	65
D.1	Dashboard - Main page	66
D.2	Dashboard - Actuators Info Page	67

Lista de Siglas

LT	Linhas de Transmissão
ELIR	<i>Electrical Inspection Robot</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UAV	<i>Unmanned aerial vehicle</i>
RGB	<i>Red, green and blue</i>
IR	<i>Infra-red</i>
ROS	<i>Robot Operating System</i>
IMU	<i>Inertial measurement unit</i>
VoSPI	<i>Video over SPI</i>
USB	<i>Universal serial bus</i>
ARM	<i>Advanced Risc Machines</i>
NUC	Computador ultra-compacto da fabricante Intel

Introdução

Segundo [Filho \(2005\)](#), as linhas de transmissão são elementos de um sistema elétrico que transportam a energia produzida pelas fontes de geração até as subestações abaixadoras instaladas próximas aos grandes centros de carga. Como as fontes de geração de energia são construídas longes dos centros consumidores é preciso de linhas de transmissão de grandes extensões, o que as tornam susceptíveis às incidências de defeitos.

Um dos maiores problemas na distribuição de energia é o aquecimento anormal associado à alta resistência ou fluxo de corrente excessiva, onde alguns dos componentes afetados são os transformadores trifásicos, switches, conetores, fusíveis, cabos, etc ([CABELLO, 2016](#)). Outro problema comum é a proximidade de objetos não desejados dos cabos de alta tensão, que podem acarretar em curtos circuitos fase-terra no sistema elétrico de potência

No Brasil, existe uma quantidade considerável de linhas de transmissão de alta tensão que já ultrapassaram a vida útil das quais foram destinadas. Com a degradação dos componentes nela instalados, que podem causar possíveis problemas, vê-se a necessidade de manutenções preditivas a fim de verificar a integridade do sistema.

Atualmente, a inspeção de linhas de transmissão é feita através de aeronaves tripuladas e uma equipe especializada. Essas inspeções são relativamente custosas e não possuem uma boa eficiência, por ser uma inspeção visual. Há também um risco associado a esta tarefa, pois as aeronaves precisam sobrevoar próximos a LT para que um operador para realize o procedimento, como pode ser vista na figura [1.2](#).

Umas das técnicas comumente utilizada para inspeção de linhas de transmissão é a termografia, capaz de identificar o aumento de temperatura nos cabos e equipamentos. A inspeção por câmera térmica é de suma importância para a integridade dos equipamentos, já que por sua vez podem identificar possíveis problemas. Vale ressaltar que as inspeções não verificam apenas os equipamentos, mas monitoram se há algum impedimento na faixa de servidão, visto que construções e vegetação necessitam manter uma distância mínima da mesma. Uma exemplo de faixa de servidão pode ser observada na Figura [1.1](#).

Com base no cenário mencionado, foram desenvolvidas diversas propostas de soluções, desde robôs que se movimentam utilizando a LT como cabo guia até UAV's para realizarem as inspeções.



Figura 1.1: Faixa de Servidão



Figura 1.2: Inspeção de uma linha de transmissão

No trabalho de [Adabo \(2014\)](#), é abordado o desenvolvimento de um sistema de inspeção visual embarcado em uma aeronave não tripulada, no qual é realizado um vôo de longa distância com uma aeronave pilotada remotamente. O sistema de inspeção conta com uma câmera RGB e uma câmera IR que transmitem as imagens em tempo real para a estação em que o piloto está. A vantagem da utilização de UAV's é que o mesmo pode cobrir longas distâncias, entretanto é necessário manter uma certa distância da LT para que a aeronave possa operar sem riscos de colisão. A desvantagem de se ter esse afastamento é que há uma degradação na qualidade da imagem térmica, dessa forma perdendo detalhes importantes da inspeção. A aeronave pode ser observada na Figura 1.3



Figura 1.3: Delta III - UAV para inspeção de LT

De acordo com o que foi abordado, neste trabalho de conclusão de curso, seguindo a metodologia TheoPrax, é proposto o desenvolvimento do sistema de percepção de um robô móvel para inspeção de linhas de transmissão ELIR. O robô se irá deslocar ao longo do cabo de alta tensão em busca de pontos quentes utilizando uma câmera térmica e verificando se há objetos próximos dos cabos com um sonar. Esses dados serão armazenados com a adição das coordenadas do robô fornecidas por um GPS e horário da detecção. O sistema irá conter outros sensores para compor toda a sua funcionalidade e serão abordados em mais detalhes nesse documento.

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver o sistema de percepção para um robô de inspeção de linhas de transmissão ELIR (Electrical Line Inspection Robot).

1.1.1 *Objetivos Específicos*

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Desenvolver algoritmo para deteção de pontos quentes;
- Desenvolver o sistema georeferenciamento do robô;
- Elaborar o sistema de segurança do robô (Análise de temperatura, consumo e Capacidade da Bateria);
- Construir interface de comunicação com o usuário para apresentar as informações de segurança do robô, informação dos atuadores e todas as ocorrências da missão.

1.2 *Justificativa*

Segundo [Rangel, Kienitz e Brandão \(2009\)](#), a inspeção de linhas de transmissão por muito tempo foi executada através de aeronaves tripuladas. Para [Oliveira \(2007\)](#), este tipo de atividade é considerada de alto risco por conta da baixa altitude das aeronaves e a sua proximidade com as linhas de alta tensão e se torna ainda mais agravante a depender das condições geográficas e climáticas do local de trabalho.

A proximidade das aeronaves com as linhas de alta tensão é necessária para realizar a inspeção térmica. Nestas inspeções câmeras infravermelhas são utilizadas para captar a radiação emitida pelas linhas de transmissão, estruturas e elementos. Esta informação é fundamental detecção de pontos quentes na linha e quanto mais quente o ponto, mais suscetível ele está a falha.

A fim de garantir a disponibilidade no fornecimento de energia elétrica, a manutenção de linhas de alta tensão são feitas de forma preventiva sistemática, ou seja, a inspeção é realizada com periodicidade, tornando-se assim além um de serviço de alto risco também um serviço de alto custo.

Um dos fatores que mais impactam na manutenabilidade das linhas de transmissão é o desconhecimento do local exato de falha. O tempo gasto para a equipe de manutenção percorrer extensas distâncias na procura do local de falha, torna a manutenção de linhas um atividade de longa duração. Quanto maior o tempo sem abastecimento de energia, maior o transtorno para a população principalmente em regiões com alta demanda, o que pode acarretar em multas para as concessionárias de energia.

A utilização de robôs móveis para inspeção de linhas de alta tensão ganham destaque a partir dos avanços tecnológicos no século XX. Eles são considerados grandes soluções tecnológicas uma vez que substituem o trabalho humano em atividades de risco, além disso podem possuir um sistema de sensoriamento capazes de fornecerem informações diversas de acordo com a necessidade do usuário.

O desenvolvimento de robôs para inspeção de LT não só são justificáveis pelo grau de criticidade das linhas mas também por constituirem o resultado de um desenvolvimento tecnológico, gerando pesquisa e desenvolvimento nas instituições e contribuindo para o crescimento científico de todos os envolvidos.

1.3 Requisitos do cliente

O desenvolvimento do sistema de percepção para o robô ELIR teve como fundamento os requisitos técnicos proposto pelo cliente do projeto. Os requisitos estão apresentados detalhadamente nos tópicos a seguir.

- **Inspeção de Temperatura dos cabos, estrutura e obstáculos:** Devem ser disponibilizadas as informações de medição de temperatura dos cabos, estrutura da linha e de seus obstáculos. Esses dados devem ser obtidos através da câmera térmica para inspeção
- **Georreferenciamento dos eventos:** Todos os eventos de detecção de pontos quentes, sobretemperatura e sobrecorrente devem ser sinalizados em um *logfile* informando a data, horário e coordenadas geográficas obtidos pelo GPS.
- **Disponibilizar os videos dos eventos:** A inspeção realizada pela câmera térmica deve ser disponibilizada em tempo real na interface gráfica do robô.
- **Identificação de posicionamento da garra no cabo:** A fim de garantir a confiabilidade da operação, deve ser realizado uma verificação do alinhamento das garras no cabo da linha de alta tensão.
- **Inspeção da linha de servidão:** Devem ser disponibilizadas informações de objetos até sete metros abaixo do robô
- **Monitorar temperatura do protótipo:** A temperatura da parte interna do protótipo deve ser monitorada para garantir a segurança dos equipamentos eletrônicos presentes.

1.4 Organização do Trabalho de Conclusão do Curso

Este documento apresenta 5 (cinco) capítulos e está estruturado da seguinte forma:

- **Capítulo 1 - Introdução:** Contextualiza o âmbito no qual a pesquisa proposta está inserida. Apresenta, portanto, a definição do problema, objetivos e justificativas da pesquisa e como este trabalho de conclusão do curso está estruturado;
- **Capítulo 2 - Conceito do Sistema:** Descreve como o sistema de Percepção é composto, apresenta a especificação técnica, a arquitetura geral do sistema, a arquitetura de software e os requisitos técnicos;
- **Capítulo 3 - Materiais e Métodos:** Apresenta os materiais utilizados no projeto, explica os suportes mecânicos criados, o diagrama elétrico e o desenho da placa desenvolvida, além das especificações de cada funcionalidade do sistema;
- **Capítulo 4 - Resultados:** Apresenta a descrição dos testes unitários e integrados realizados;
- **Capítulo 5 - Conclusão:** Apresenta as conclusões, contribuições e algumas sugestões de atividades de pesquisa a serem desenvolvidas no futuro.

Conceito do Sistema

Para um robô, o ambiente é um mar de ambiguidades, no qual ele vai afundar ou nadar a depender da robustez de sua percepção.

(FITZPATRICK, 2003)

A percepção é, de acordo com o dicionário Michaelis (2004), a capacidade de distinguir por meio dos sentidos ou da mente.

Segundo Thorpe et al. (2003), este é o ponto fraco mais comuns em robôs pois para garantir sua segurança e confiabilidade é necessário que o mesmo tenha a capacidade de interpretar as variáveis ambientais. A percepção é o que torna os robôs diferentes de simples mecanismos, pois é ela quem dá a habilidade de adequar suas operações de acordo com as influências externas.

A percepção do ELIR pode ser definida como um sistema integrado de sensoriamento e com unidades de processamento, em que seus dados serão utilizados como parâmetros de tomada de decisão e disponibilizados durante a operação de inspeção ao operador.

O sistema foi projetado de forma a possuir três subsistemas principais: segurança, georreferenciamento e detecção. A descrição de cada um dos subsistemas e suas funcionalidades serão mostradas nas próximas sessões.

A Percepção é o sistema de sensoriamento do robô e pode ser entendida como a forma que ele comprehende o que esta ao seu redor. No projeto do robô ELIR, o sistema de percepção engloba a aquisição e a interpretação dos dados de todos os sensores envolvidos.

Na arquitetura geral deste sistema, mostrado na Fig. 2.1, estão representados as três camadas principais: *Sensing*, *Interface* e *ROS Environment*.

A etapa de *Sensing* é composta por todos os processos de aquisição de dados de todos os sensores envolvidos no projeto. A camada de interface compreende a disponibilização destes dados para o ambiente de trabalho ROS. Essas duas etapas são camadas de *hardware*. Por último, terá a camada de *software*, a qual será feita no *ROS Environment*, e que irá englobar todo o sistema de compreensão e interpretação dos dados provenientes do sistema de interfaceamento do robô.

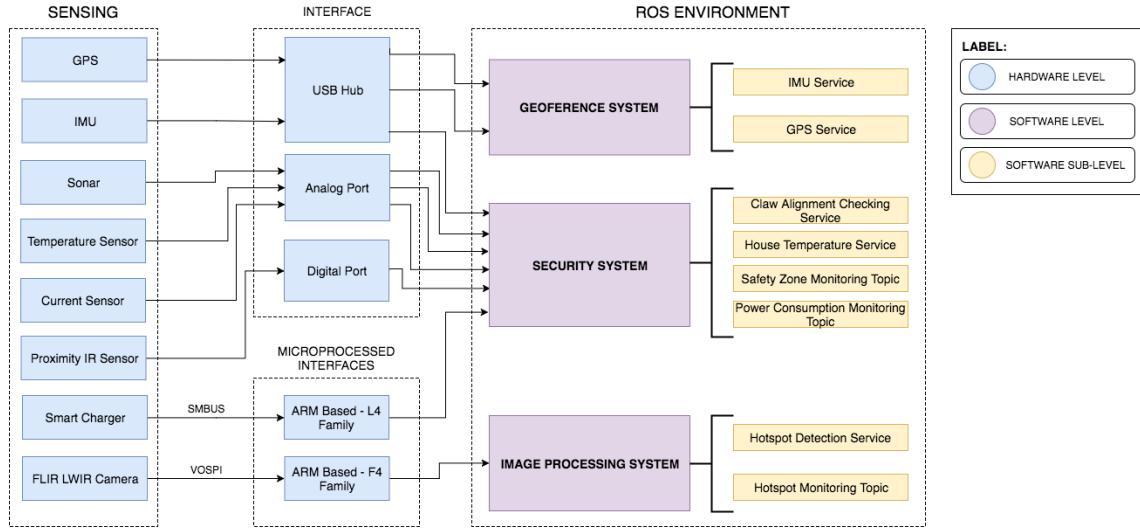


Figura 2.1: Arquitetura Geral da Perception

2.0.1 Arquitetura de software do sistema de Percepção

A arquitetura de software foi projetada em três camadas a fim de facilitar o desenvolvimento do sistema e simplificar o entendimento do mesmo. As camadas são:

- *User Interface Layer*
- *Business Layer*
- *Driver Layer*

As camadas e seus componentes podem ser vistos na Fig.2.2.

2.0.1.1 Driver Layer

A camada de *Driver Layer* está diretamente relacionada a funcionalidade de aquisição de dados. Ela composta pelo *hardware*, representado pelos sensores e seus respectivos drivers de comunicação. Desta forma, as subcamadas são nomeadas com o processo de aquisição de dados de cada sensor envolvido no projeto.

As subcamadas *Current Data Acquisition*, *Temperatura Data Acquisition*, *Proximity Data Acquisition* e *Sonar Data Acquisition* são responsáveis por adquirir as informações analógicas de seus sensores e transformá-los em dados da grandeza física a ser medida. Todas estas subcamadas utilizam a placa de interfaceamento Phidgets para o estabelecer de comunicação entre o computador (NUC) e os sensores.

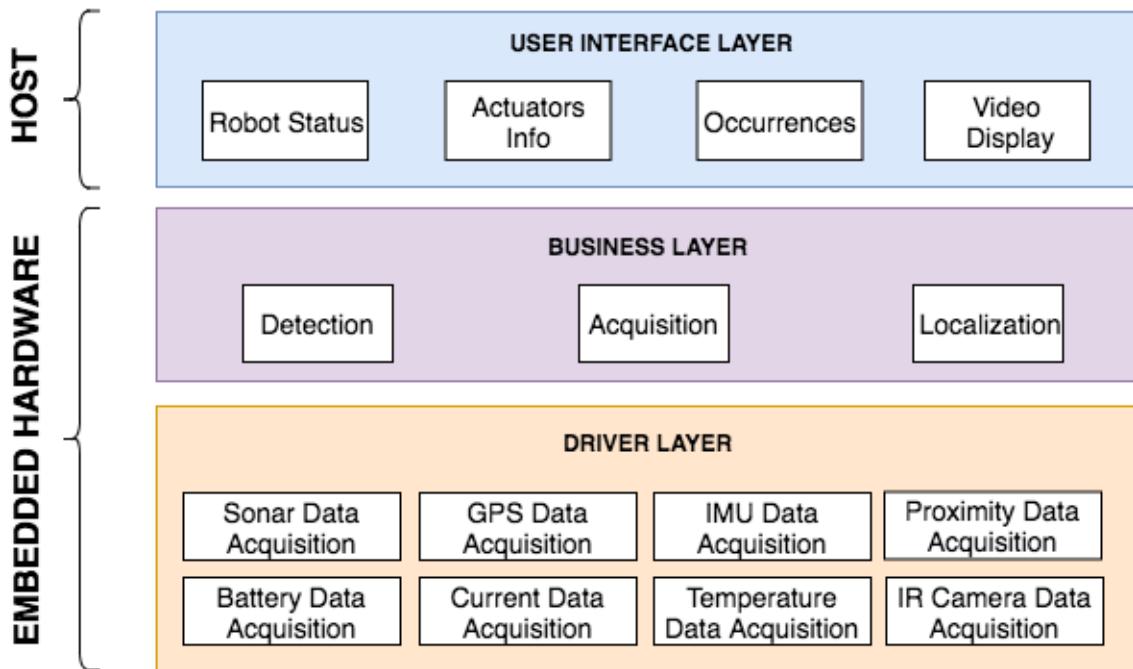


Figura 2.2: Arquitetura Geral da Perception

As subcamadas *IMU Data Acquisition* e *GPS Data Acquisition* são responsáveis pelo recebimento de dados da IMU e do GPS seguindo o protocolo de comunicação do fabricante. Esses dois módulos estão conectados ao *hub* USB da placa de interfaceamento Phidgets.

A subcamada de *IR Camera Data Acquisition* é responsável pela aquisição de dados da câmera térmica, a qual se comunica via VoSPI (Video over SPI) com um microcontrolador de arquitetura ARM (STM32F401RE) e converte os dados para USB e os envia à NUC.

Por último, a subcamada de *Battery Data Acquisition* é responsável pelo estabelecimento da comunicação e coleta de informações com o *Smart Charger* de bateria utilizando protocolo SMBus.

As conexões e diagramas elétricos podem ser vistos no apêndice C.

2.0.1.2 Business Layer

A camada *business layer* é responsável por implementar a regra de negócio do sistema. As funcionalidades do sistema são representadas como sub-camadas da business

layer, pois são elas responsáveis pelo processamento e coordenação dos dados adquiridos pela camada de aquisição.

2.0.1.3 User Interface Layer

A camada de *User Interface* foi projetada para disponibilizar os dados para o operador. Nela será mostrado de forma resumida os dados mais relevantes do robô e da operação. Nesta camada existem três subcamadas: *Robot Status Display*, *Actuators Display* e *Video Display*.

A subcamada *Robot Status Display* disponibiliza os dados de integridade do robô como temperatura, corrente, tensão, nível de bateria, entre outras informações. A subcamada de *Actuators Display* disponibiliza os dados de todos os motores do robô, como carga, temperatura, status e corrente. Por último, a subcamada de *Video Display* mostra em tempo real o monitoramento realizado pela câmera térmica, possibilitando o usuário ver os componentes da linha que estão com temperatura elevada e até mesmo identificar pontos quentes.

A interface irá se resumir em duas telas: A tela principal com um layout de *dashboard*, e outra que terá as informações dos atuadores. O *dashboard* será um painel de monitoramento, no qual haverá as informações mais importantes da missão, como pode ser visto na apêndice D.1. Essa tela irá mostrar as informações de integridade do robô, ocorrências e a imagem térmica. A tela dos atuadores irá mostrar de forma organizada, as informações já mencionadas, além da corrente total de cada *hub* de motores. Pode-se observar a tela de atuadores na Figura 4.6 no apêndice D.

2.1 Especificação técnica do sistema de Percepção

A construção do sistema de Percepção teve como base os requisitos técnicos do cliente. As especificações podem ser observadas abaixo:

- O sistema foi projetado para trabalhar com alimentação de 14V proveniente de baterias LiPo.
- A máxima temperatura de trabalho na *housing* é de 50 graus Celsius.
- O sistema consegue detectar objetos através do sonar em uma faixa de servidão de 6.45 metros.

- A obtenção de *frames* da câmera IR acontece na taxa de 1 frame a cada dois segundos.
- Em condições de sobretemperatura ou sobrecorrente o sistema alertará o operador.
- O sistema não é protegido contra ingresso de água

2.2 Desdobramento da função qualidade para as funcionalidades

Materiais e Métodos

A metodologia empregada para gerenciamento e execução do projeto ELIR é a mesma empregada na área de Robótica da Instituição. O projeto foi dividido em três fases principais:

- *Conceitual e Design*
- *Development*
- *Tests*

Na etapa de *Conceitual e Design* foram definidos os sensores a serem utilizados no projeto, o modelo esquemático de alimentação e comunicação bem como toda análise de funcionalidades e arquiteturas do robô. Esta é a etapa de criação de conceito tecnológico e o sucesso das demais etapas estão diretamente relacionadas ao sucesso desta.

Na etapa de *Development* as funcionalidades foram implementadas em código e todas as interfaces de alimentação e comunicação foram validadas. Esta fase é marcada pela implementação dos protocolos de comunicação, integração dos sensores com o *framework* de robótica e desenvolvimento da interface gráfica.

Já na etapa *Tests* foram realizados os testes unitários e integrados do sistema de percepção do robô comprovando o seu funcionamento.

3.1 *Lista de componentes*

No sistema de Percepção os sensores atuam como os sentidos do robô, recebendo dados externos e informando a unidade central de processamento os seus significados. Quanto maior o número de grandezas físicas analisadas, mais complexo o sistema de Percepção e maior a sua capacidade de compreensão.

Os sensores que compõem o sistema de Percepção do robô ELIR foram escolhidos com base nas necessidades de cada funcionalidade do sistema e disponibilidade do componente na própria instituição. A lista de componentes utilizada está mostrada na Figura 3.1.

Item	Description	Manufacturer	Part Number	power/current	connection	unit cost [R\$]	quantity	total cost [R\$]
01	interface board	Phidgets	1019_1B	500mA (max)	USB	R\$ 272,00	1	R\$ 272,00
02	proximity sensor	ETT CO. Ltd	E18-D80NK npn	<25mA	Digital Output	R\$ 29,00	5	R\$ 145,00
03	temperature sensor	Texas Instruments	LM35	10mA	Analog Output	R\$ 7,38	1	R\$ 7,38
04	gps	Swift Navigation	Piksi 2.3.1	5V, 500mW	USB	R\$ 3.398,00	1	R\$ 3.398,00
05	imu	XSENS	Mti-1	44mW	USB	R\$ 1.597,50	1	R\$ 1.597,50
06	ultrasonic sensor	Maxbotix	EZ-1	5V, 2mA	Analog Output	R\$ 107,82	1	R\$ 107,82
08	lwir camera	FLIR	Lepton 1.0	140mW	I2C	R\$ 812,50	1	R\$ 812,50
09	bridge board I	STMicroelectronics	STM32F401 RE	160mA/0.64W	USB	R\$ 49,79	1	R\$ 49,79
10	bridge board II	STMicroelectronics	STM32L432KC	140mA/0.56W	USB	R\$ 39,56	1	R\$ 39,56
11	battery	Inspired Energy	NH2054HD34	89Wh/6,2Ah	SMBus	R\$ 879,98	2	R\$ 1.759,97
12	power management board	SENAI CIMATEC	-	-	USB	R\$ 2.200,00	1	R\$ 2.200,00
13	smart charger for battery	Inspired Energy	EB325A	15mA/0.36W	SMBus	R\$ 1.296,00	1	R\$ 1.296,00
14	central processing	Intel	NUC515RYK	15W/12V	USB	R\$ 4.300,00	1	R\$ 4.300,00
15	cabo usb	-	-	-	USB	R\$ 10,00	2	R\$ 20,00
							Total:	R\$ 15.985,52

Figura 3.1: Lista de materiais utilizados no sistema de Percepção do robô ELIR

Fonte: Própria

3.2 Diagramas mecânicos do sistema de Percepção

O sistema de Percepção em robôs muitas vezes é entendida como uma implementação em código das funcionalidades do sistema, desconsiderando o aporte mecânico envolvido. Contudo, o suporte mecânico para os sensores é um grande desafio a ser solucionado.

Neste projeto, houve a necessidade de suportes mecânicos por conta da limitação de espaço além de haver uma restrição imposta pelo cliente na modificação estrutural no protótipo. A descrição dos suportes mecânicos desenvolvidos para confrontar esse problema esta mostrada na próxima sessão.

3.2.1 Suporte dos sensores

Para fixar todos os sensores e componentes eletrônicos de maneira organizada foi desenhada uma estrutura em forma de prateleira na qual é possível anexar a grande parte dos sensores do sistema de Percepção.

A primeira prateleira comporta os sensores do sistema de georreferenciamento que são o GPS e a IMU. A prateleira central foi projetada para a placa de interface Nucleo F401RE que recebe os dados da câmera IR. Por último, na terceira prateleira fica a placa de interface Phidgets para reunir os dados dos diferentes componentes e enviar para a NUC que é a unidade de processamento central do robô.

As peças foram fabricadas utilizando impressão 3D e o seu desenho pode ser visto nas Figura 3.2 e 3.3 .

A parte de gerenciamento enérgico do robô foi alocada em uma estrutura na parte

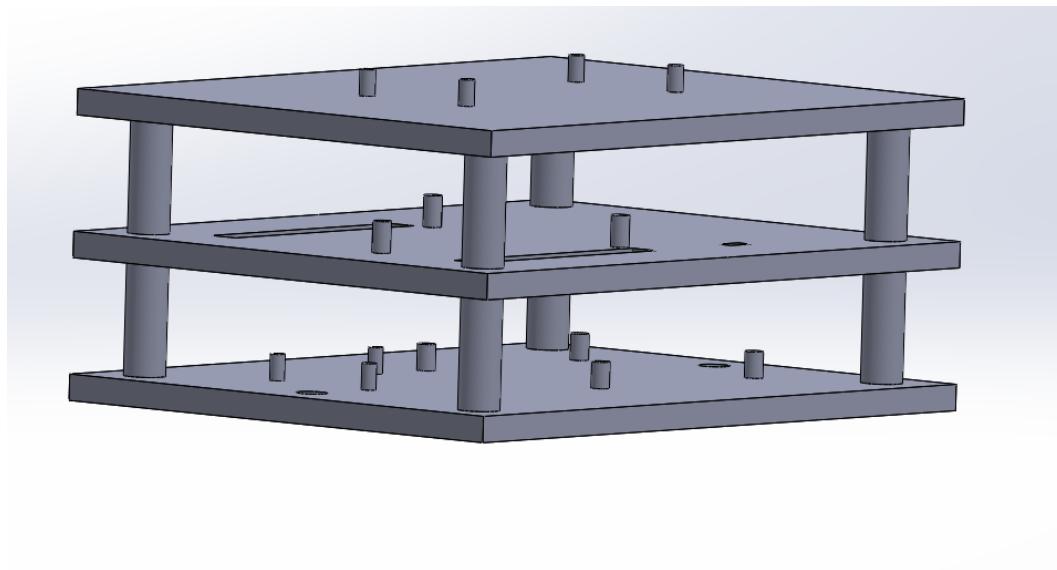


Figura 3.2: Prateleira para suporte dos componentes eletrônicos

inferior do mesmo. Esta estrutura foi projetada para comportar as baterias, a *Smart Charger*, a *Power Management* e a placa de interface Nucleo L432. O desenho dessa estrutura está mostrado na figura 3.4.

3.3 **Modelo esquemático de alimentação e comunicação**

A alimentação do sistema é proveniente de duas baterias LiPo que fornecem tensão de alimentação em 14V. Todo o gerenciamento de energia do sistema é feita pela *Power Management Board*, esta placa é responsável por distribuir a alimentação de entrada para os demais subsistemas da Percepção.

A placa de interface Phidgets além de funcionar como *hub* para uma grande parte dos sensores também é responsável por compatibilizar o nível de tensão para os componentes eletrônicos, fornecendo 5V para as placas microprocessadas, sensores e a alimentação de todas as portas USBs.

A comunicação entre os sistemas da Percepção ocorrem na maior parte através da Phidgets, já que esta placa de interface concentra as informações oriundas de suas portas USB, entrada digitais e entradas analógicas em uma única porta USB para a unidade central de processamento.

A câmera térmica e a os dynamixels possuem portas exclusivas de comunicação com a unidade central devido seu grau de criticidade.

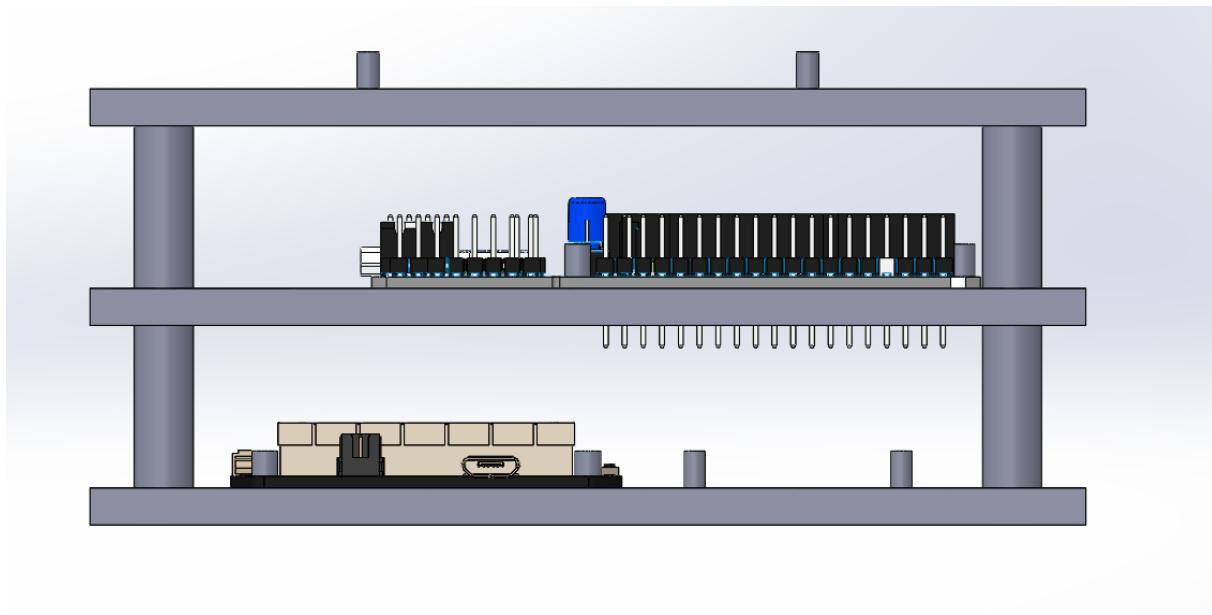


Figura 3.3: Prateleira para suporte com sensores

3.3.1 Diagramas elétricos e eletrônicos

O diagrama elétrico do sistema está disponível no apêndice C. Neste diagrama encontram-se todas as conexões elétricas e de comunicação bem como as especificações de conectores e cabos utilizados no projeto.

O esquemático eletrônico realizado pela equipe foi uma placa hub de 5V para alimentação dos sensores de proximidade, visto que a Phidgets possui apenas umas saída de tensão em 5V disponibilizada.

Nesta placa foram colocados os *pin headers* para cada sensor de proximidade, fornecendo alimentação e disponibilizando os pinos digitais dos sensores em um conector Molex.

O esquemático eletrônico e *board* estão mostrados no anexo C.

3.4 Especificação das funcionalidades

As funcionalidades de um robô descrevem os subsistemas e a lógica de operação dos mesmos. No ELIR, o sistema de Percepção possui três funcionalidades principais: Aquisição, Localização e Detecção. A descrição de cada funcionalidade e seu diagrama de funcionamento estão mostrados nos subtópicos a seguir.

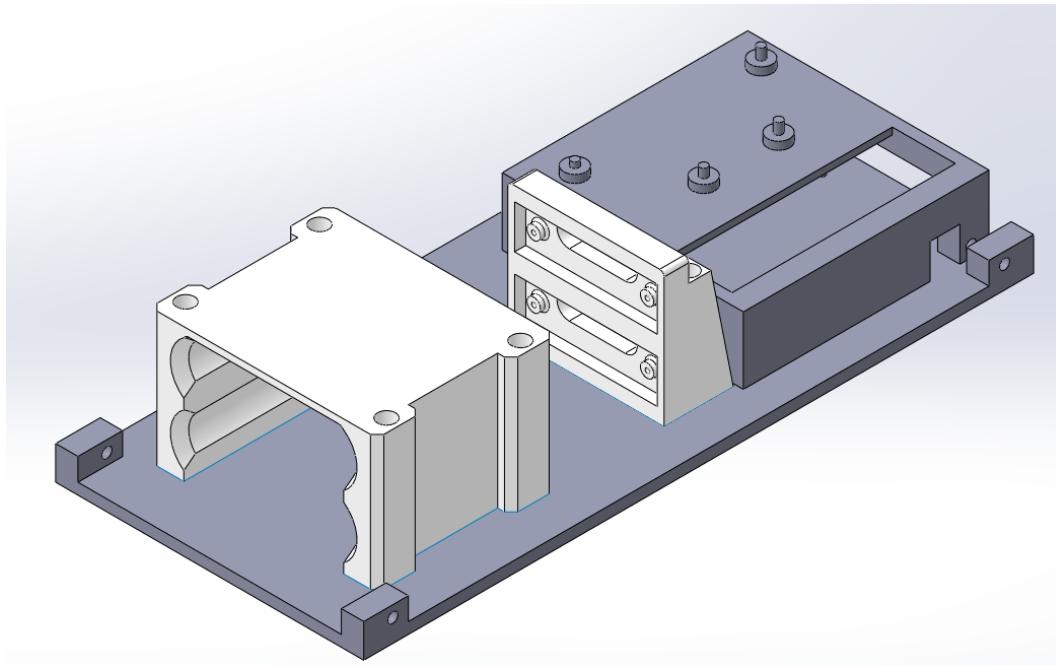


Figura 3.4: Prateleira para suporte dos componentes de alimentação

3.4.1 Aquisição

O processo de aquisição de dados envolve a comunicação dos sensores com seus respectivos drivers no ambiente ROS e a disponibilização dos dados para as outras funcionalidades do sistema.

Os sensores analógicos e digitais terão seus dados tratados pelo driver da interface Phidgets no ambiente ROS. Para os dispositivos relacionados a localização como o GPS e a IMU, serão utilizados drivers já disponibilizados pelos fabricantes.

No caso dos componentes que trabalham com os protocolos de comunicação SPI ou I2C, como é o caso da câmera térmica e da *Smart Charger*, serão utilizadas duas interfaces baseadas em ARM com um *firmware* embarcado para a conversão dos dados para o protocolo UART.

A interface microprocessada utilizada para obter dados da câmera térmica possui uma porta USB dedicada na unidade de processamento Intel NUC. Já a outra interface microprocessada para a *Smart Charger* será conectada a uma porta USB da Phidgets.

No ambiente ROS do projeto há um *package* exclusivo para receber os dados convertidos da câmera térmica, um *package* para receber dados de todos os sensores conectados a Phidgets, um *package* para recebimento de dados da *Smart Charger* e por último um *package* exclusivo para interface gráfica. Pode-se observar o fluxograma da aquisição na Figura 3.6

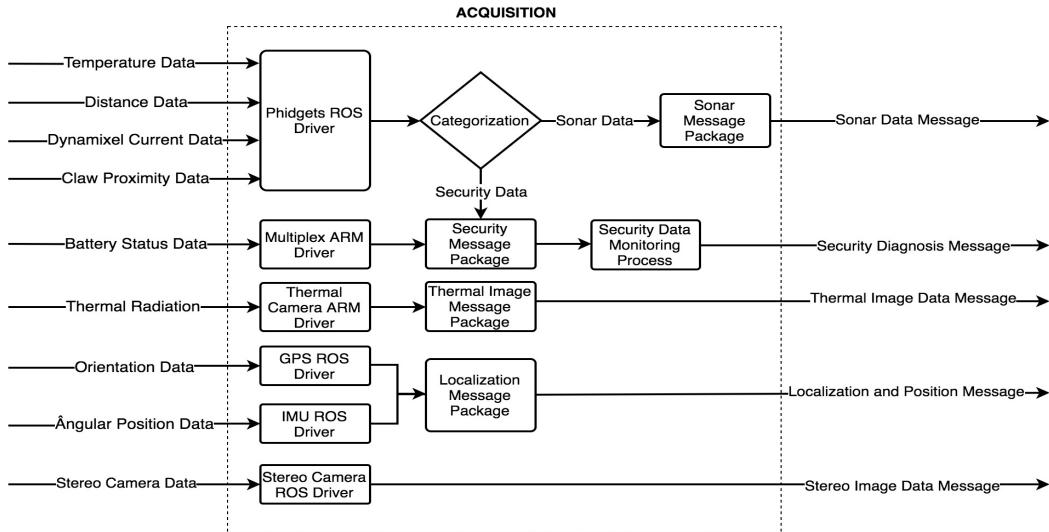


Figura 3.5: Fluxograma da Funcionalidade Aquisição

Para correta execução desta funcionalidade é necessário o funcionamento dos sensores segundo o nível de prioridade dos mesmos. Logo, um estudo de casos de falhas para cada sensor foi realizado, no qual foi definido um nível de criticidade de acordo com o impacto de sua função no sistema como um todo. Foram elaborados três níveis de criticidade:

- Level 1 - Sensores com impacto crítico na operação. Em casos de falha, a inspeção não poderá ser realizada.
- Level 2 - Sensores com impacto médio na operação. Em caso de falha, a inspeção poderá ser realizada de forma parcial.
- Level 3 - Sensores com impacto leve na operação. Em caso de falha, não haverá dados de monitoramento da situação de temperatura e consumo energético do robô, porém a inspeção poderá continuar normalmente.

Na figura abaixo, pode-se observar os sensores e suas categorias.

3.4.1.1 Objetivo

Realizar a comunicação e a aquisição dos dados provenientes da câmera térmica, sensores de proximidade, sonar, GPS, IMU, sensor de temperatura, *Smart Charger* e sensores de corrente.

Grau de Criticidade dos Sensores	
Level 1	<ul style="list-style-type: none"> • FLIR LWIR Thermal Camera • Claw proximity sensors
Level 2	<ul style="list-style-type: none"> • EZ-1 Sonar • GPS • IMU
Level 3	<ul style="list-style-type: none"> • Temperature Sensor - LM35 • Multiplex Board • Current Sensors

Figura 3.6: Nível de criticidade dos sensores

3.4.1.2 Dependências

Esta funcionalidade não é dependente de nenhum outro processo.

3.4.1.3 Premissas

- A interface microcontrolada Nucleo STM32F401RE deve estar com firmware embarcado para conversão de dados SPI para UART.
- A câmera térmica deverá estar conectada à interface Nucleo STM32F401RE
- A câmera stereo deve está conectada à NUC através da porta USB
- Os sensores de temperatura, corrente e sonar devem estar conectados as entradas analógicas da interface Phidgets
- Os sensores de proximidade devem estã conectados as entradas digitais da placa de interface Phidgets
- O GPS e a IMU devem estar conectados a portas USB da Phidgets
- As placas de interface devem estar energizadas.

3.4.1.4 Saídas

Esta funcionalidade possui quatro saídas:

- *Sonar Data Message*: Mensagem de saída exclusiva para os dados do sonar EZ-1.
- *Secutiry Diagnose Message*: Mensagem contendo todos os dados relacionados à segurança e integridade do robô.
- *Thermal Image Data Message*: Mensagem exclusiva para os dados da câmera térmica.
- *Localization and Position Message*: Mensagem contendo os dados relacionados á localização e posicionamento angular do robô.

3.4.2 Localização

O sistema de localização envolve o monitoramento da posição latitudinal e longitudinal do robô, assim como a posição angular através do GPS e da IMU respectivamente.

A localização é um package que ao receber uma requisição de informação, coleta os dados de posicionamento e orientação do robô provenientes do sistema de Aquisição e encaminha para o sistema que requisitou.

O fluxograma deste funcionalidade pode ser visto na Figura 3.7

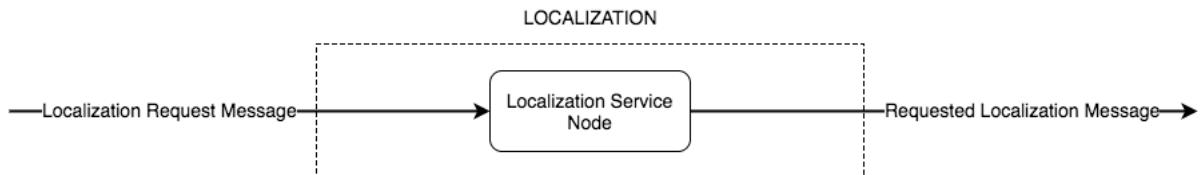


Figura 3.7: Fluxograma da Funcionalidade Localização

3.4.2.1 Objetivo

O objetivo desta funcionalidade é disponibilizar os dados de Localização do robô no ambiente ROS para a funcionalidade de Detecção.

3.4.2.2 Dependências

O sistema de localização depende dos dados de posicionamento e orientação disponibilizados pelo sistema de Aquisição.

3.4.2.3 Premissas

- O sistema de Aquisição deve estar funcionando corretamente até o Nível 2 de criticidade dos sensores.
- GPS e IMU estão posicionados em uma estrutura rígida e com o menor vibração possível.

3.4.2.4 Saídas

- *Requested Localization Message*: Mensagem que informa os dados de localização para o sistema que os requisitou.

3.4.3 Detecção

A detecção é a funcionalidade responsável por identificar a presença de pontos quentes na linha de transmissão bem como de objetos na faixa de servidão. Ao identificar um destes elementos, o sistema solicita da funcionalidade de Localização os dados posicionamento e orientação do robô e envia uma mensagem de alerta.

A mensagem de detecção de um ponto quente informa a localização do robô e a localização do objeto no frame de imagem. Por isso recebe a mensagem de detecção de obstáculos.

A mensagem de detecção de objetos na faixa de servidão informa a distância da cota da linha até o objeto e a localização do mesmo.

3.4.3.1 Objetivo

O objetivo desta funcionalidade é coletar as informações provenientes da câmera infravermelha e do sonar, como presença de pontos quentes e objetos presentes na área de servidão.

3.4.3.2 Dependências

O sistema de detecção depende dos dados do sonar e dos *frames* da câmera térmica disponibilizados pelo sistema de Aquisição. Além disto, depende do sistema de Localização para adquirir informações de posicionamento e orientação do robô.

3.4.3.3 Premissas

- O sistema de Aquisição deve estar funcionando corretamente até o Nível 2 de criticidade dos sensores.
- A câmera térmica deve estar calibrada e posicionada com ângulo de visão para as linhas de transmissão e seus obstáculos
- O sonar deve estar posicionado de forma a monitorar objetos abaixo da linha de transmissão.

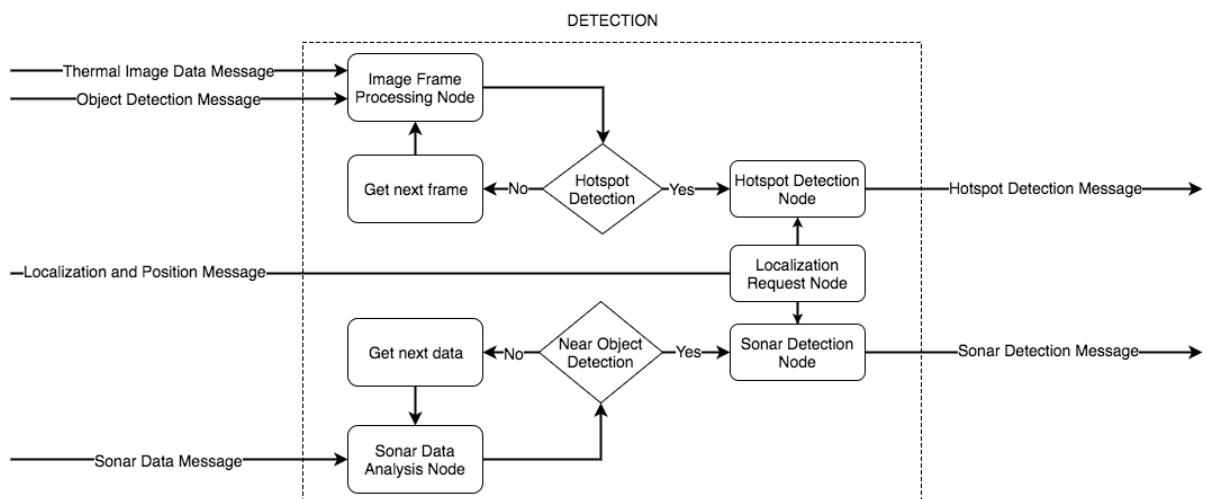


Figura 3.8: Fluxograma da Funcionalidade Detecção

3.4.3.4 Saídas

- *Hotspot Detection Message*: Mensagem que informa a detecção de um ponto quente e informa a sua localização na imagem e localização do robô na linha.
- *Sonar Detection Message*: Mensagem que informa a detecção de objetos na faixa de servidão e sua localização na linha.

3.5 Interface do Usuário

A interface do usuário é uma forma de expor graficamente as variáveis mais importantes do sistema robótico e quais atividades estão sendo executadas. Ela permite dar previsibilidade ao usuário do comportamento do sistema.

No ELIR a interface do usuário tem o papel de informar cinco características principais:

- *System Integrity*
- *Robot Status*
- *Thermal view*
- *Occurrences*
- *Actuators Information*

No campo de *System Integrity* são exibidos em tempo real as variáveis de grande impacto na eficiência e integridade do sistema. Por isso são informados os dados de temperatura, percentual de carga da bateria, consumo, localização e orientação do robô.

O *Robot Status Display* exibe o posicionamento das garras do robô na linha de transmissão. A coloração vermelha indica as garras foras da linha enquanto que a coloração verde indica as garras apoiadas na linha. Essa informação proveniente dos sensores de proximidade é de extrema importância para integridade física do robô.

O *Thermal View* exibe em tempo real os frames da câmera IR, permitindo o usuário acompanhar a detecção de pontos quentes e visualizar o perfil de temperatura da área exibida.

O campo de *Occurrences* mostra as principais ocorrências daquele momento, mostrando eventos de sobretemperatura, sobrecorrente, detecção de pontos quentes e detecção de objetos na área de servidão. Todos os eventos são mostrados com data, horário e localização gps.

Resultados

As funcionalidades do sistema de percepção foram validadas a partir de duas etapas de testes. Os testes unitários buscam a validação do funcionamento individual dos sensores, enquanto os testes integrados validam o funcionamento dos sistemas e funcionalidades, ou seja, todos os componentes em conjunto. A descrição dos testes realizados e dos resultados obtidos por eles está descrita abaixo.

Para mais detalhes sobre as conexões eletro-eletrônicas, pode-se ver o apêndice [C](#).

4.1 Testes unitários

4.1.1 Câmera Térmica

A câmera térmica Lepton, do fabricante FLIR, se comunica por VOSPI. Logo, foi necessário utilizar um driver para converter os dados da câmera e disponibiliza-los para a USB. Uma placa de desenvolvimento Nucleo STM32F401RE com o driver disponibilizado por [Gyver et al. \(2017\)](#) foi utilizada para essa situação.

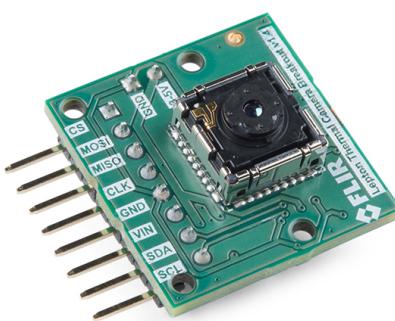


Figura 4.1: Lepton LWIR

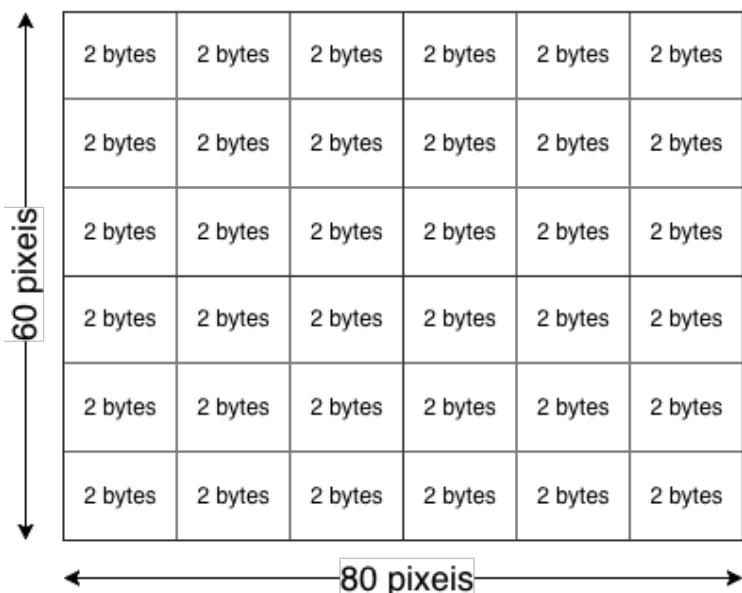
O driver coleta os frames e verifica se o mesmo foi adquirido corretamente, após isso, envia para a USB seguindo o seguinte padrão de mensagem:

No início de cada mensagem, há uma sequência de quatro *bytes* para confirmar a transferência dos dados. Após a confirmação por um *script* em python, inicia-se o



Figura 4.2: Mensagem do frame da câmera

processo de aquisição do *frame*. Cada *frame* é composto por 4800 *pixels*, sendo 80 na horizontal e 60 na vertical. Além disso, cada *pixel* possui 2 *bytes* de profundidade de cor, correspondendo a 9600 *bytes* de informação para cada *frame*. Na Figura 4.3, pode-se observar uma representação do *frame* da câmera.

Figura 4.3: Esquemático do *Frame* da Câmera Térmica

No *script* de aquisição de *frames*, cada *pixel*, foi convertido para uma escala de cinza de 8-bits (1 *byte*). Conversão necessária para trabalhar com a biblioteca de processamento de imagens OpenCV.

Após isso a imagem foi reconstruída para verificar a integridade dos *frames*.

4.1.2 Sonar EZ-1

O sonar EZ-1 da MaxBotix possui saída analógica referente a distância medida. Para testá-lo, foi utilizada uma das entradas analógicas da Phidgets.



Figura 4.4: Sonar EZ-1

A comunicação da Phidgets com a NUC é feita via USB, contudo, é necessário a instalação dos drivers obrigatórios da placa no linux. Além disso, é necessário a instalação do módulo python respectivo da placa, dessa forma, permitindo a utilização de classes e métodos para controle da comunicação com os sensores.

Com os respectivos drivers e módulos da phidgets instalados no computador, foi necessário apenas conectar os terminais alimentação e saída analógica do sensor nos conectores correspondentes da Phidgets e executar um *script* de leitura da tensão nas entradas analógicas fornecido pela própria fabricante.

Ao executar o código, recebe-se, no intervalo de dez segundos, todas as leituras de tensão efetuadas no sensor. Notamos que ao afastar o obstáculo do sonar o valor de tensão aumentava e quando aproximavamo o obstáculo o valor de tensão diminuía. Após feita a conversão de tensão para unidades métricas através das informações disponibilizadas no *datasheet*, foi possível validar o sensor.

4.1.3 Sensor de Proximidade

O sensor de proximidade E18-D80NK funciona de maneira bastante simples. O módulo possui um emissor e um receptor de feixes infra-vermelhos, o qual identifica se há ou não um objeto próximo devido a reflexão, liberando assim, um sinal de nível alto caso positivo e nível baixo caso negativo.

Por questão de sinalização, o fabricante adicionou um LED, que ao identificar algum objeto próximo, acende-se. Com isso, logo após alimentar o sensor já era possível ver o



Figura 4.5: Sensor de proximidade E18-D80NK

seu funcionamento. Entretanto, ainda era necessário verificar se a saída digital referente a detecção estava em devido funcionamento.

Para isso, foi utilizada a placa de interfaceamento Phidgets assim como no tópico anterior. O que diferiu nesse teste para o anterior é que o sensor foi acoplado em uma entrada digital, em vez de uma analógica, assim como o *script* executado foi para comunicação com as entradas digitais. O código, também disponibilizado pela fabricante, notifica a mudança de estado da saída dos sensor, dessa maneira podendo ser validada.

4.1.4 Smart Charger

A placa de gerenciamento e carregamento das baterias DS325A, da empresa Inspired Energy, funciona a partir do protocolo de comunicação SMBus. Informações das baterias como temperatura, corrente, carga, entre outras podem ser solicitadas através do seguinte protocolo de leitura.

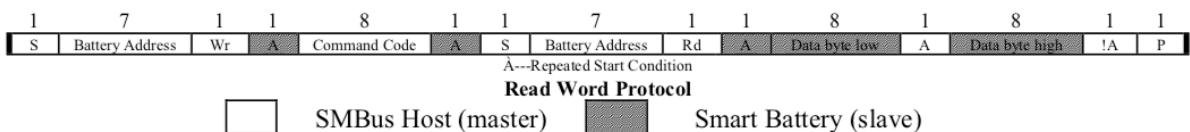


Figura 4.6: Protocolo de comunicação do *Smart Charger* e das baterias

No qual é necessário enviar primeiro o endereço de 7 bits da bateria de interesse, seguido do comando referente a que informação está se requisitando. Após isso, inicia-se o processo de leitura das informações da bateria.

O driver de comunicação foi desenvolvido em uma placa de desenvolvimento Nucleo STM3L432KC para disponibiliza-los na USB do computador. Além disso, um *script* em python foi escrito para requisitar essas informações do microcontrolador.

Os dados foram convertidos para suas respectivas grandezas, dessa maneira, foi possível validar as informações obtidas.

4.1.5 Sensor de Temperatura

O sensor de temperatura LM35 possui uma saída analógica e com comportamento linear entre a tensão de saída e a temperatura medida.



Figura 4.7: Sensor de Temperatura LM35

O componente foi testado em uma das entradas analógicas da Phidgets, e utilizando o mesmo algoritmo de leitura de tensão já mencionado para realizar a obtenção de dados. Para verificar a resposta do sensor, foi medido o valor de tensão de saída para uma sala com ar-condicionado e para um ambiente externo com auxílio de um termômetro de referência.

Os valores de tensão foram convertidos para graus Celsius, através da correlação disponível no *datasheet*, validando assim o sensor.

4.1.6 GPS

O GPS Piksi v2.3.1, da Swift Navigation, possui um console disponibilizado pelo próprio fabricante, porém como se tinha em mãos uma versão antiga do aparelho, foi necessário descobrir qual a versão compatível do *software*.

O console foi instalado, o GPS foi conectado na USB do computador e a antena devidamente acoplada. Essa versão em específico precisa de quatro satélites para realizar os cálculos de coordenadas, e em ambientes fechados, a recepção de sinal é bastante

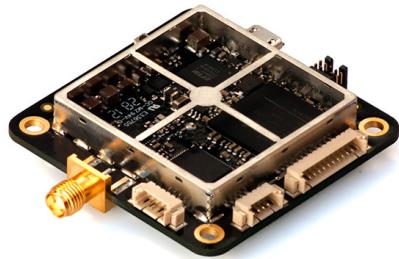


Figura 4.8: GPS Piksi v2.3.1

degradada. Para contornar essa situação, o dispositivo foi iniciado em modo de simulação em seu console, mostrando assim, os dados de longitude e latitude.

Posteriormente, a antena foi levada a um ambiente externo e verificou o funcionamento do GPS fora do modo de simulação.

4.1.7 IMU

A IMU Mti-1, fabricado pela Xsens, possui um console que é disponibilizado no próprio pendrive de instalação que vem junto ao sensor.

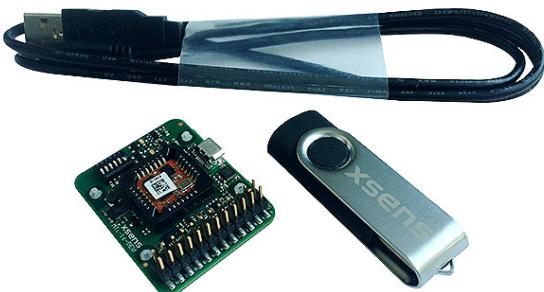


Figura 4.9: IMU Xsens Mti-1

Com o console instalado, foi apenas necessário conectar a IMU a uma das portas USB do computador. Na própria interface gráfica já aparece as informações de orientação do dispositivo, informando a orientação nos três eixos de referência e velocidade angular.

4.2 Integração no ROS

Após os testes unitários de cada sensor, deu-se inicio à integração dos sensores no ambiente ROS para construção do sistema de Percepção. A descrição da metodologia empregada para embarcar cada um dos sensores no framework de robótica está mostrada nos tópicos abaixo.

4.2.1 Phidgets

Após a fase de testes unitários, foi necessário desenvolver o *package* de comunicação da phidgets no ROS. Esse *package* é responsável pela aquisição dos dados de todos os sensores analógicos e digitais conectados a Phidgets.

Os nós foram desenvolvidos utilizando como base o módulo *python* da Phidgets. Ele consiste em uma classe e cada objeto desta, representa um componente conectado a placa de interface. Ao declarar o objeto, se faz necessário informar o canal, o nome do dispositivo, o tipo de porta (digital ou analógico) e o nome do tópico a ser disponibilizado os dados.

No construtor da classe os dados referentes aos dispositivos são coletados e um *publisher* do ROS é inicializado. Este *publisher* faz com que periodicamente os dados de tensão(canais analógicos) ou status da porta(canais digitais) sejam coletados e disponibilizados no tópico escolhido pelo usuário.

No script original foram criados seis objetos da classe no *main loop*, correspondentes aos cinco sensores de proximidade conectados a portas digitais e ao sonar conectado na porta analógica.

4.2.2 Smart Charger

O script utilizado no teste unitário para receber os dados provenientes do *smart charger* no computador foi utilizado como base para a construção do nó no ambiente ROS.

O nó funciona enviando um *byte* pré-definido para dar início ao processo de transmissão de dados da bateria. A recepção do *byte* pela Nucleo L432KC inicia a leitura dos dados da bateria, como mostrado no tópico anterior. Logo após isso, ocorre o envio das informações em sequência para o computador, como pode ser visto abaixo:

W	R	R	R	R
0x30	2 bytes	2 bytes	2 bytes	2 bytes
Fixed Header	Voltage	Temperature	Current	Capacity

Figura 4.10: Mensagem entre a Nucleo L432KC e o nó referente às baterias

No nó do ROS essas informações são recebidas via serial e convertidas para sua devidas unidades segundo o *datasheet* do fabricante. Esses dados são colocados em um formato de mensagem chamado de Battery e publicadas em um tópico do ROS. O nó criado para a *smart charger* está mostrado no anexo XX.

4.2.3 Câmera Térmica

A integração da câmera no ROS foi feita em duas etapas, que na prática foram representadas como dois nós:

- O primeiro com objetivo da aquisição dos dados da câmera e sua disponibilização em um tópico.
- O segundo nó é responsável por todo o tratamento da imagem e detecção dos pontos quentes.

Para a aquisição dos dados, no primeiro nó, foi utilizado basicamente o mesmo algoritmo que no teste unitário, porém com a integração das bibliotecas do ROS para publicar os *frames* em forma de *Numpy arrays* em seu devido tópico.

No segundo nó foi utilizado a biblioteca OpenCV para realizar o processamento da imagem. Primeiramente, o frame disponibilizado pelo nó de aquisição é adquirido subscrevendo do seu respectivo tópico. Para retirar o aspecto "pixelado" da imagem da câmera, devido a sua baixa resolução (80x60 pixels), foi necessário realizar uma interpolação cúbica para redimensionar a imagem para uma resolução de (400x300 pixels), obtendo assim uma imagem mais detalhada.

Com a imagem já redimensionada, é aplicado um filtro *blur* para eliminar altas frequências que podem interferir na binarização (*thresholding*) que será feita na imagem.

Após o filtro, o frame é binarizado com o objetivo de facilitar a identificação dos pontos quentes através de um algoritmo de busca de contornos.

O esquemático abaixo mostra simplificadamente o processo de tratamento da imagem.

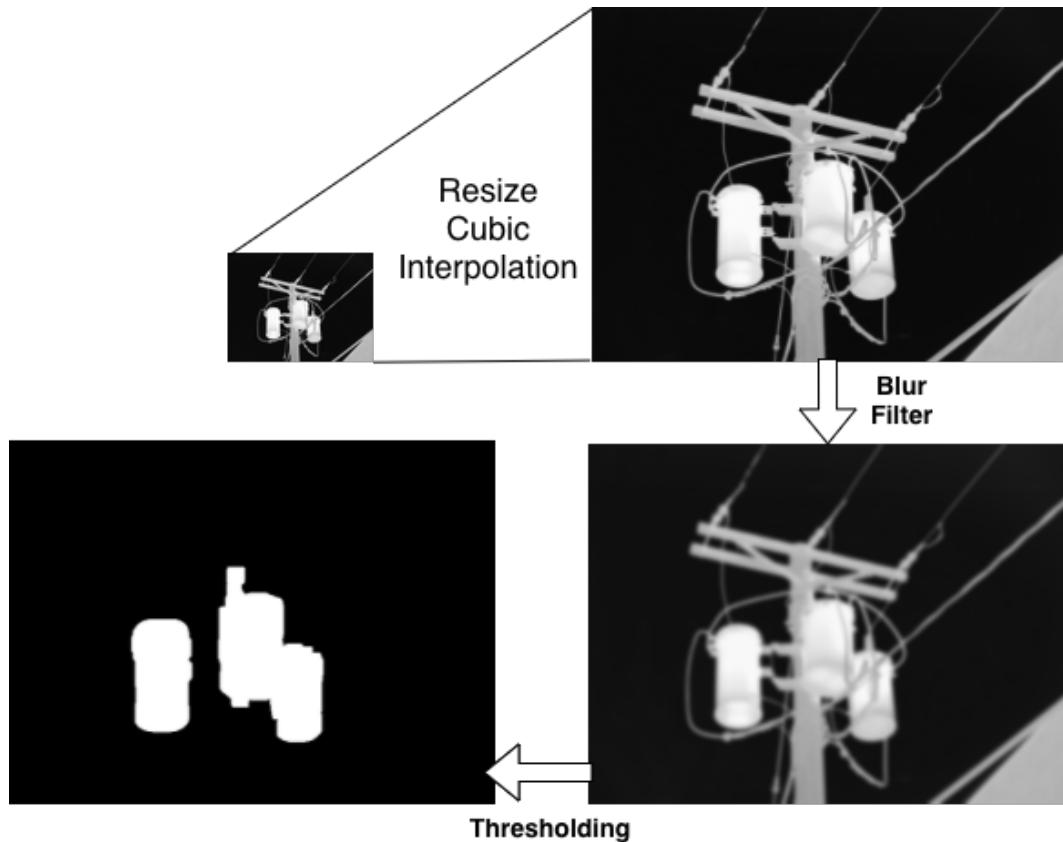


Figura 4.11: Esquemático do processamento da imagem

4.2.4 GPS

Para o GPS, foi utilizado um driver disponibilizado no GitHub por [Tranzatto et al. \(2018\)](#) com licença livre para embarcar o dispositivo no ROS.

O *package* possui nós que publicam em tópicos as informações de coordenadas obtidas do GPS.

4.2.5 IMU

Foi utilizado o driver da IMU disponibilizada pela própria fabricante Xsens para embarcar a IMU no ROS. O driver de licença livre é disponibilizado no GitHub da própria empresa.

4.3 *Testes integrados*

asdfadsfsdfs

4.4 *Trabalhos futuros*

asdfadsfsdfs

Conclusão

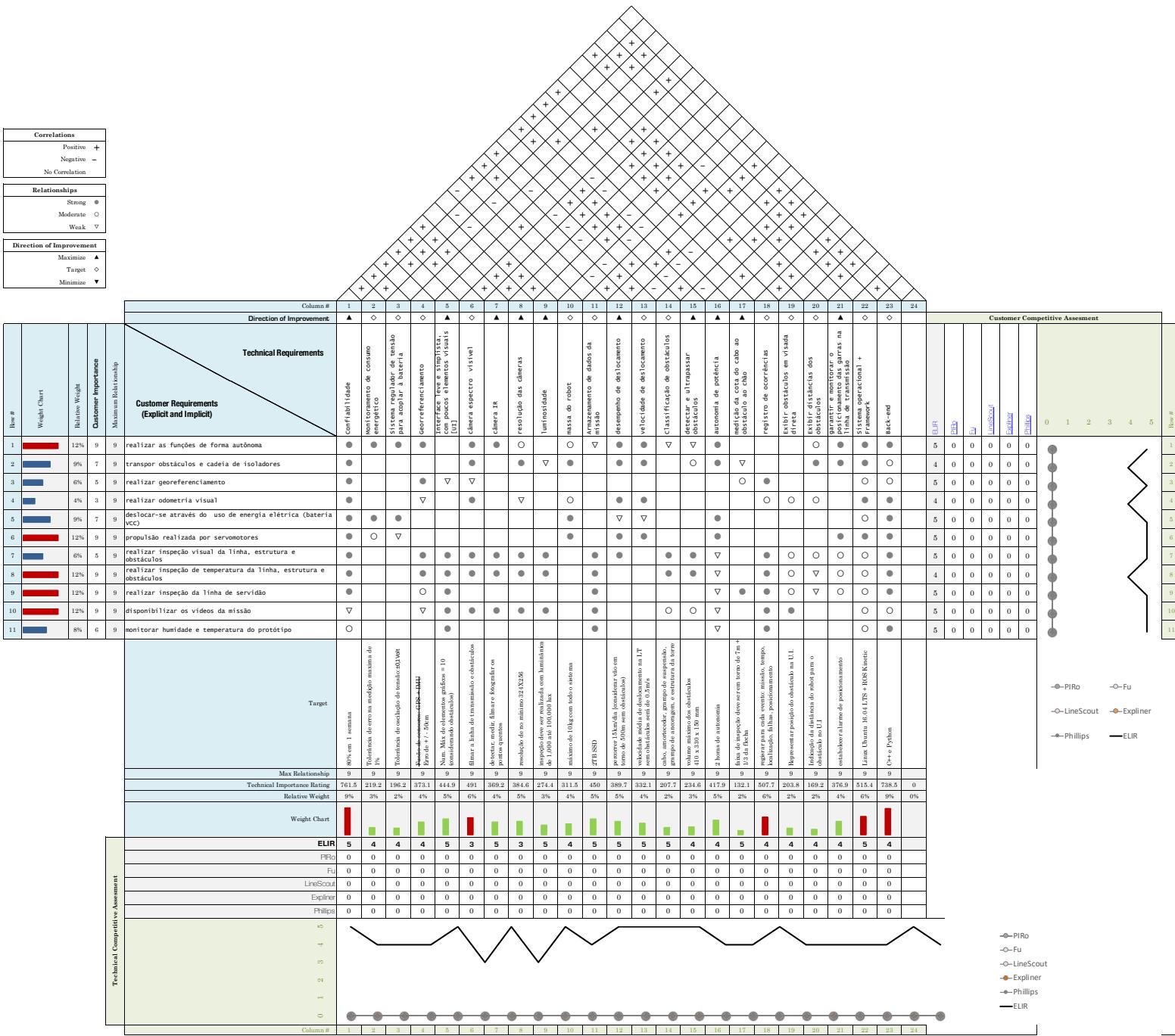
Chegou a hora de apresentar o apanhado geral sobre o trabalho de pesquisa feito, no qual são sintetizadas uma série de reflexões sobre a metodologia usada, sobre os achados e resultados obtidos, sobre a confirmação ou rechaço da hipótese estabelecida e sobre outros aspectos da pesquisa que são importantes para validar o trabalho. Recomenda-se não citar outros autores, pois a conclusão é do pesquisador. Porém, caso necessário, convém citá-lo(s) nesta parte e não na seção seguinte chamada **Conclusões**.

5.1 Considerações finais

Brevemente comentada no texto acima, nesta seção o pesquisador (i.e. autor principal do trabalho científico) deve apresentar sua opinião com respeito à pesquisa e suas implicações. Descrever os impactos (i.e. tecnológicos, sociais, econômicos, culturais, ambientais, políticos, etc.) que a pesquisa causa. Não se recomenda citar outros autores.

Apêndice A

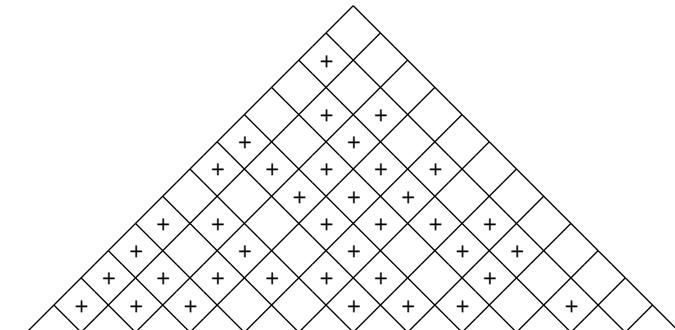
QFD



Correlations	
Positive	+
Negative	-
No Correlation	

Relationships	
Strong	●
Moderate	○
Weak	▽

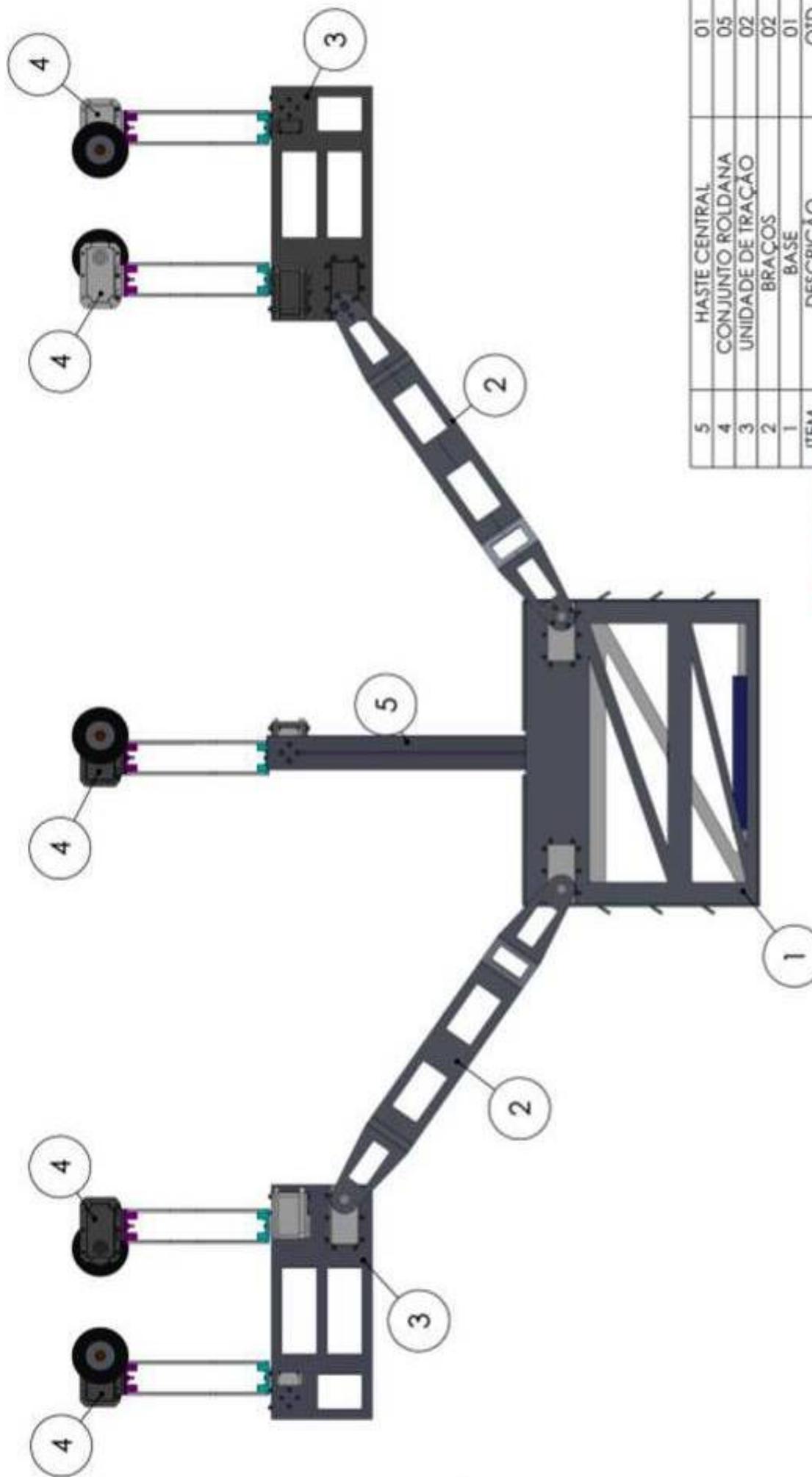
Direction of Improvement	
Maximize	▲
Target	◇
Minimize	▼



Target		verificar a integridade física do sistema antes e durante a missão	gerenciar o fornecimento de energia	realizar a comunicação e a aquisição dos dados	informar o posicionamento e orientação do sistema quando solicitado	realizar o planejamento da trajetória	mover a estrutura física e transporção dos obstáculos	classificar os objetos encontrados na linha	identificar pontos quentes e objetos na linha e na faixa de serviço	disponibilizar de forma simplificada os dados mais relevantes	fornecer parâmetro de confiabilidade e da estratégia a ser adotada	realizar a simulação da missão antes do início da mesma
Max Relationship	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3
Functional Importance Rating	277.1	291.2	500	246	403.6	338.1	413.1	574	494.9	513.4	166.1	0
Relative Weight	7%	7%	12%	6%	10%	8%	10%	14%	12%	12%	4%	0%
Weight Chart												
Column #	1	2	3	4	5	6	20	21	22	23	24	25

Diagramas mecânicos

REV	DESCRIPTION	DEAW	DATE
0	Dogelka elaboration	Juliang Sartor	07/09/2017

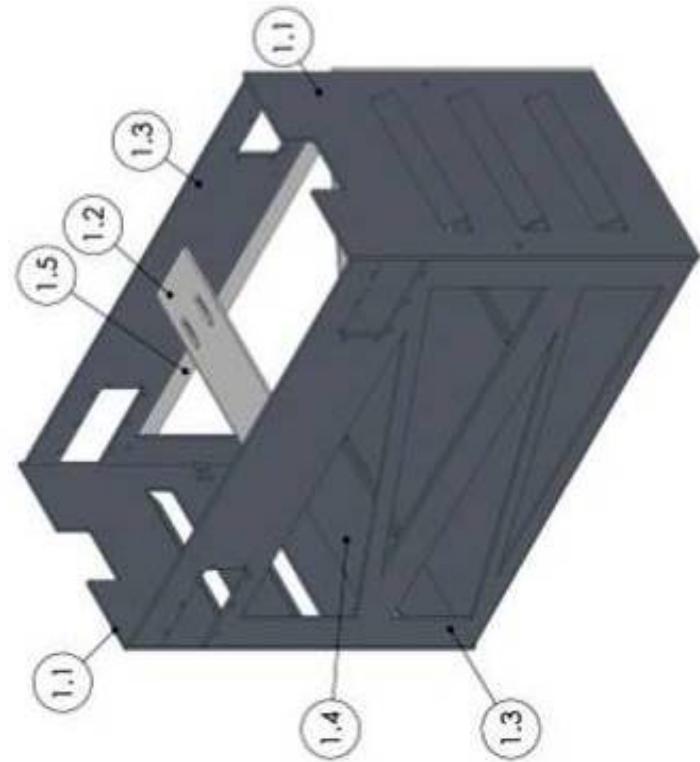


PI-Ro 2.1
VISTA FRONTAL



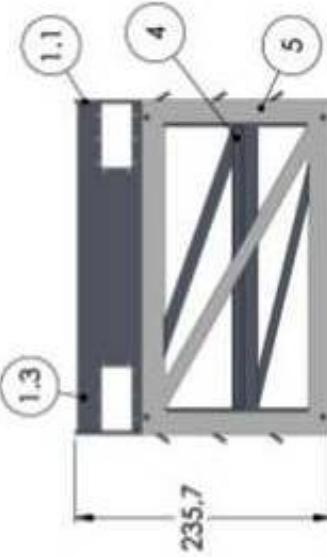
PONTEVEDRA | 1 de 13

REV 0 DESCRIPTION Drawing 07/09/2017
Drawing elaboration Juliana Santori

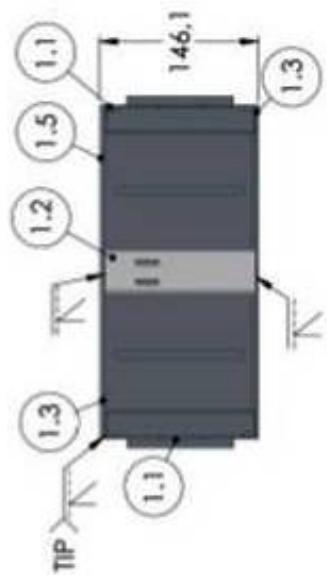


VISTA ISOMÉTRICA

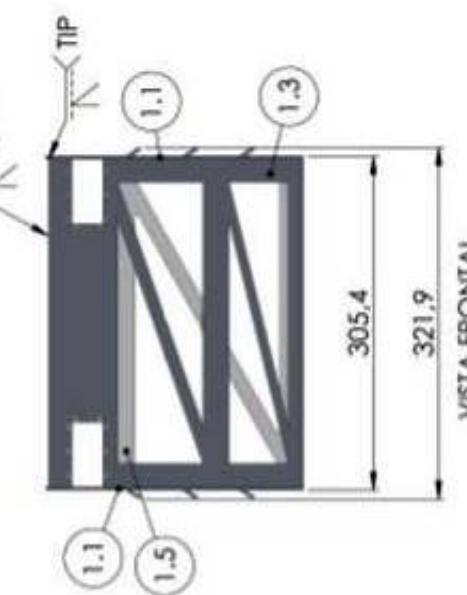
F E D C B A



VISTA TRASEIRA



VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL

ITEM	QTD	DESCRICAÇÃO	BASE - ITEM 01
1.5	01	CHAPA 05: 305,4 x 175 x 2,7 mm	
1.4	01	CHAPA 04: 148 x 254 x 2,7 mm	
1.3	01	CHAPA 03: 608,8 x 300 x 2,7 mm	
1.2	01	CHAPA 01: 138 x 47 x 2,7 mm	
1.1	02	CHAPA 01: 143,4 x 235,4 x 2,7 mm	
		DESCRICAÇÃO	
		ITEM 01	

ITEM	QTD	DESCRICAÇÃO	BASE - ITEM 01
1.5	01	CHAPA 05: 305,4 x 175 x 2,7 mm	
1.4	01	CHAPA 04: 148 x 254 x 2,7 mm	
1.3	01	CHAPA 03: 608,8 x 300 x 2,7 mm	
1.2	01	CHAPA 01: 138 x 47 x 2,7 mm	
1.1	02	CHAPA 01: 143,4 x 235,4 x 2,7 mm	
		DESCRICAÇÃO	
		ITEM 01	

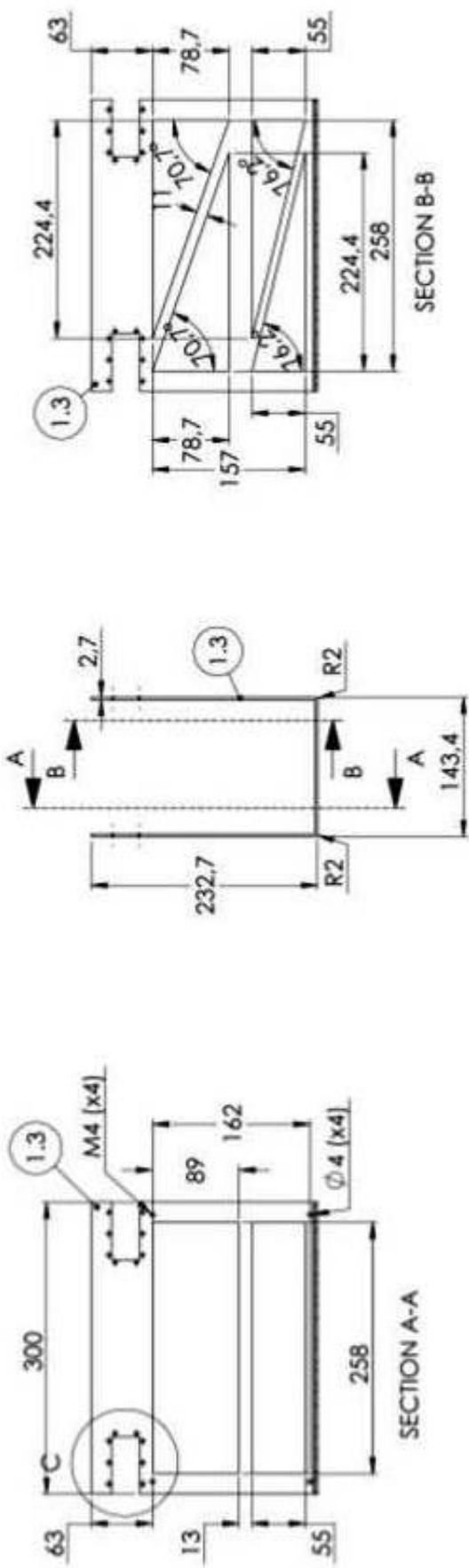


Notes:
1. All measurements in mm.
2. Use reference sketch.
3. Detail drawing.

Number:	0	Date:	07/09/2017
Name:		Author:	Marco Reis
Project:	PI-Ro 2.1	Material:	Alumínio
Comments:		Thickness:	N/A
Review:		Version:	001
Signature:		Date:	27/13

The information in this document does not express any opinion concerning the copyright or other rights of the author.

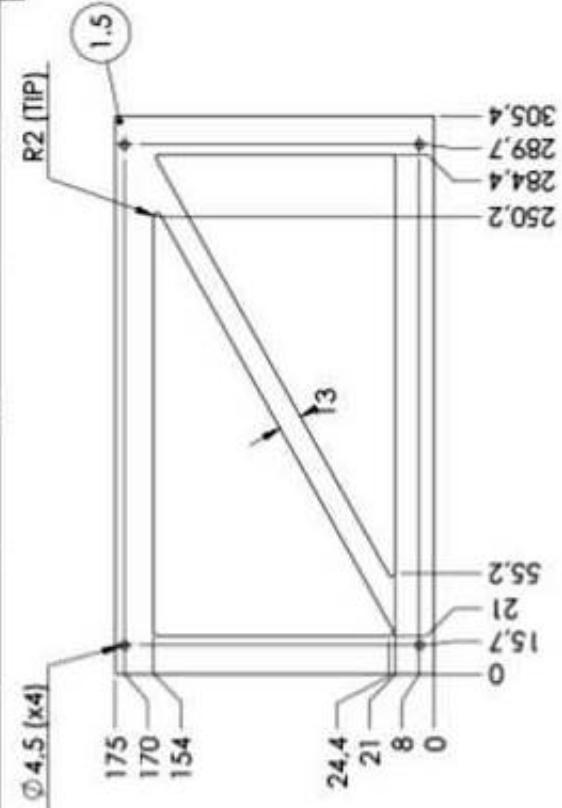
REV DATE DECODED BY
0 Dohring, Michael W/29/2017



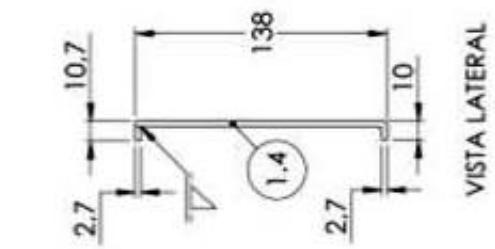
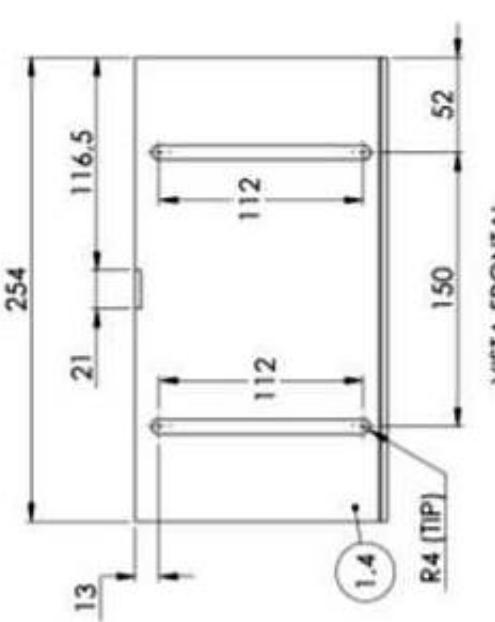
DETALHE C
ESCALA 2:5
FURAÇÃO TÍPICA PARA ENCAIXE
DO MOTOR MX-106T

ITEM	DESCRIÇÃO	MATERIAL	ESPECIF.	UNIDADE	QTD.
1.3	Chapa 608.8 x 300 x 2.7mm	Alumínio			
BASE - ITEM 1.3					
Brake View					
	Project: PI-Ro 2.1	Draw:	Alumínio	Process:	
		Date:	Júlio Cesar Sartori	Material:	4/13
		Author:	Marco Rêgo	Comments:	N/A
Name:	1. Alumínio 2. Plástico 3. Metal 4. PVC 5. Chumbo	Date:	2013-04-13	Comments:	Projeto PI-Ro 2.1
Notes:					

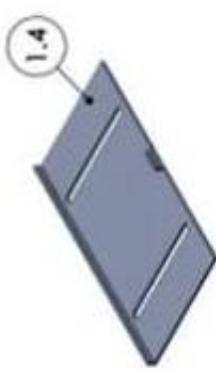
REV	DESCRIPTION	DRAW	DATE
0	Drawing elaboration	Juliana Santori	07/09/2017



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



ITEM	DESCRICAÇÃO	MATERIAL
5	Chapa 305.4 x 145 x 2.7mm	Alumínio
ITEM	ITEMS 1.4 E 1.5	1.2
Project:	PL-RO 2.1	A3
Date:	Juliana Santori	Alumínio
Name:	Marco Reis	Thermop.
Number:	0	N/A
		5/13

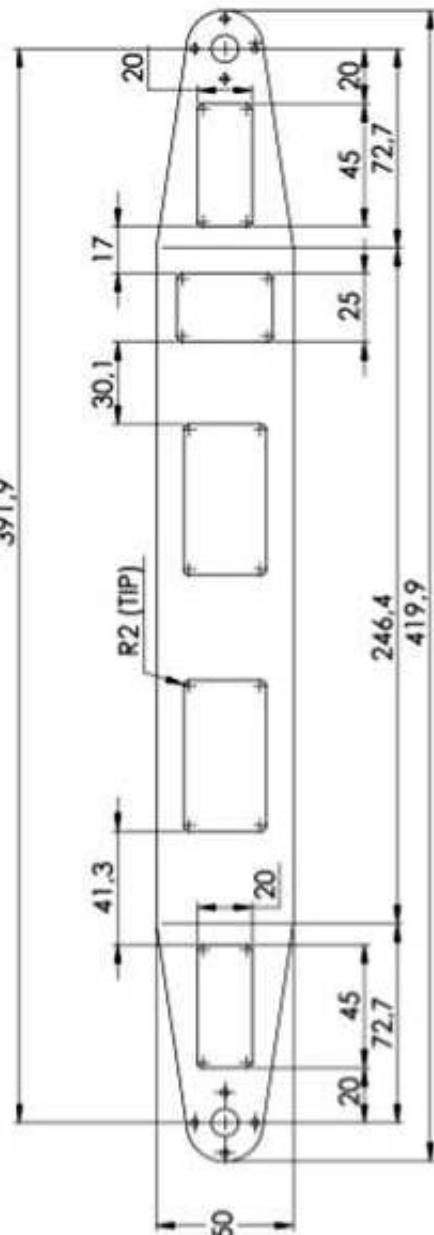
Notes:

1. All measurements in mm
2. Standard tolerance of 0.5 mm
3. Default drawing

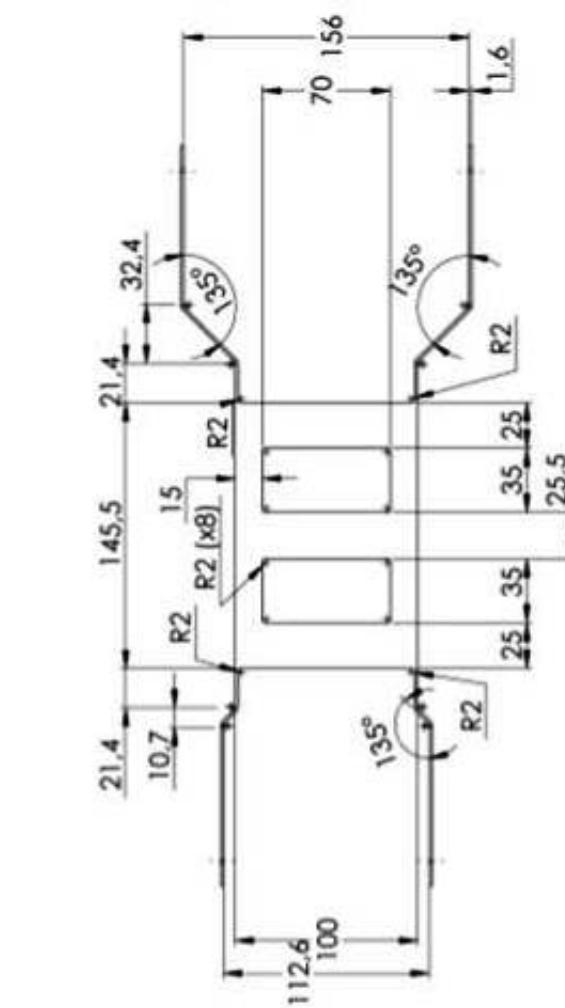
The information in this document must be handled strictly in the conditions indicated.

REV	DESCRIPTION	DRAW	DATE
0	Drawing elaboration	Júlianio Santori	07/11/2016
A	Modificação de dimensões	Júlianio Santori	07/09/2017

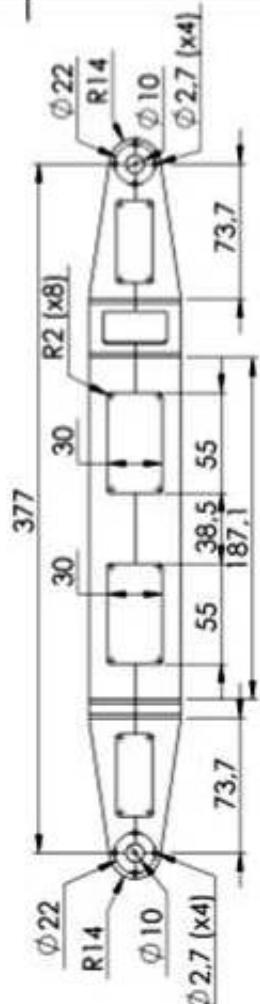
391,9



VISTA ISOMÉTRICA



VISTA SUPERIOR



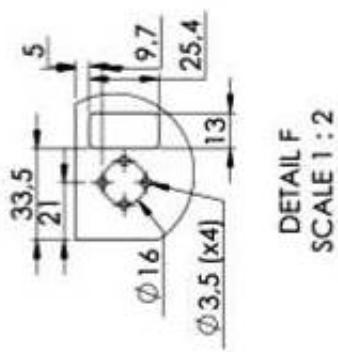
NOTA 01: CONSIDERAR QUE FILETES NÃO ESPECIFICADOS TÊM RAIO IGUAL A 3,0mm.
 NOTA 02: AS DIMENSÕES DE ABERTURA (156mm e 112,6mm) DEVEM SER MANTIDAS APÓS A REALIZAÇÃO DAS DOBRAS DO PERFIL.

SENAI FIEB		BRAÇO- ITEM 02	
Brasília - Distrito Federal	Brasília - Distrito Federal	Project:	PI-Ro 2.1
Brasília - Distrito Federal	Brasília - Distrito Federal	Date:	07/09/2017
Brasília - Distrito Federal	Brasília - Distrito Federal	Author:	Júlianio Santori
Brasília - Distrito Federal	Brasília - Distrito Federal	Reviewer:	Marco Reis
Brasília - Distrito Federal	Brasília - Distrito Federal	Base File:	0
Brasília - Distrito Federal	Brasília - Distrito Federal	Scale:	1:2
Brasília - Distrito Federal	Brasília - Distrito Federal	Page:	02
Brasília - Distrito Federal	Brasília - Distrito Federal	Sheet:	A3
Brasília - Distrito Federal	Brasília - Distrito Federal	Comments:	None
Brasília - Distrito Federal	Brasília - Distrito Federal	Revision:	0/13

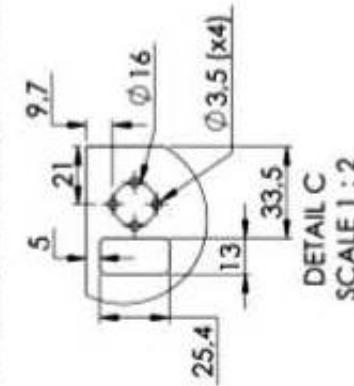
REV	DESCRIPTION	DRAW	DATE
0	Drawing elaboration	Júlio Soárez	07/11/2019
A	Modificação da dimensão	Júlio Soárez	18/11/2019



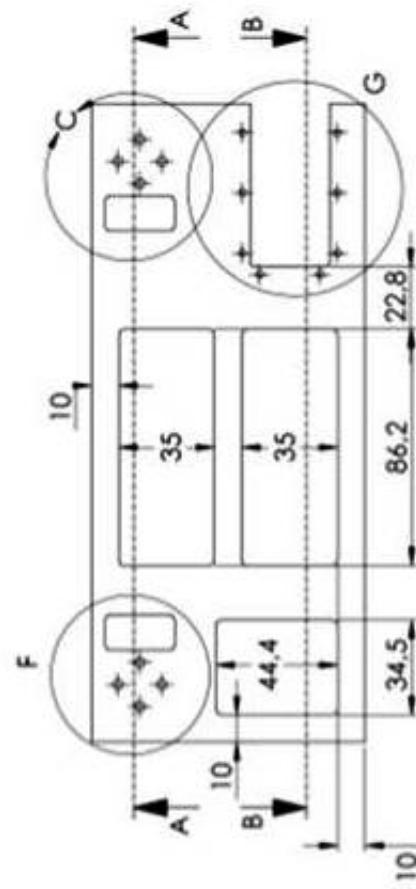
SECTION A-A



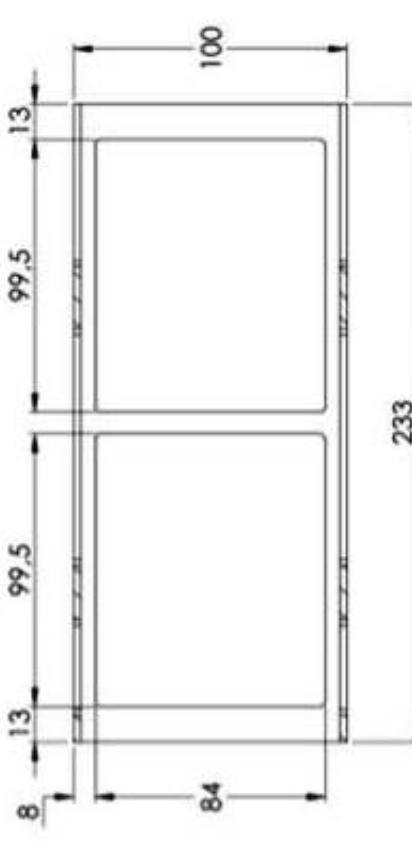
DETAIL F
SCALE 1 : 2



DETAIL C
SCALE 1:2



VISTA FRONTAL



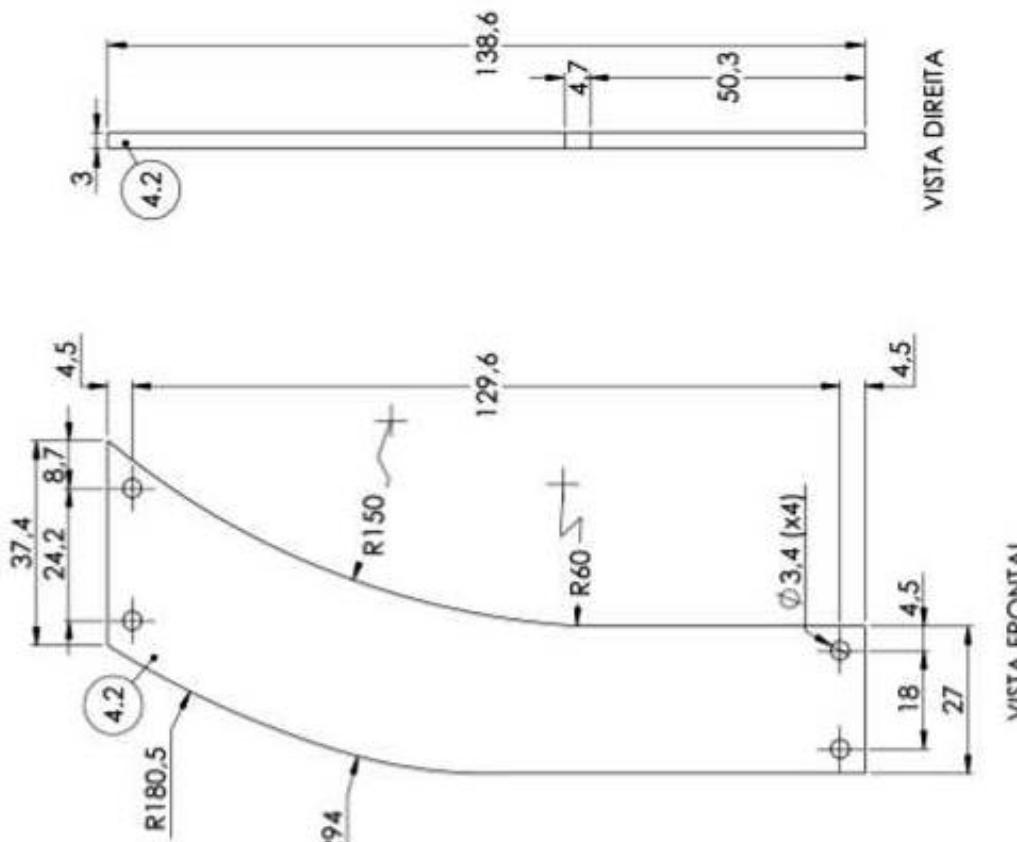
233



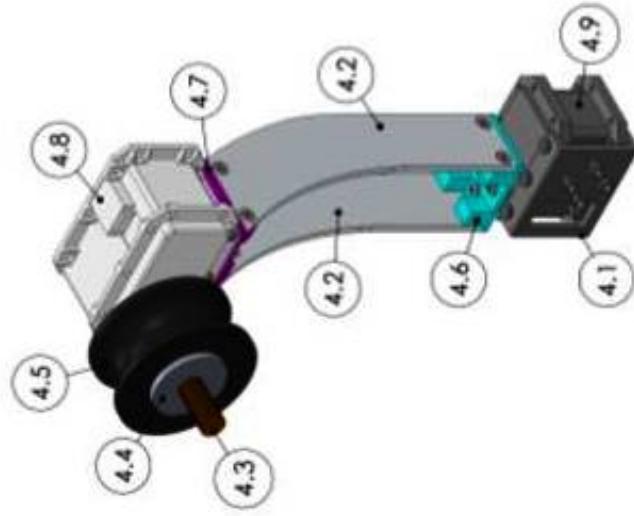
NSIA 81: CONSIDERAR QUE FILE ES NAU ESPECIE CABOS ITEM RAIS IGUAL A 2MM.

UNIDADE DE TRAÇÃO - ITEM 03	Alumínio	7/13
ER 2.1	Alumínio	7/13
Ivana Sartori	N/A	7/13

	UNIDADE DE TRAÇÃO - ITEM 03	Brazilian	1:2
		Engineering	02
	Project:	Pro 2.1	A.3
	Owner:	Juliana Sartori	Planning
	Address:	Marco Reis	Page:
	Telephone:	N/A	7/13
<p>1. All tractions are in one central area where separate drivelines for each wheel 2. Drive system using poly 3. Drive shafting</p>			
<p>Notes:</p> <p>1. All tractions are in one central area where separate drivelines for each wheel</p> <p>2. Drive system using poly</p> <p>3. Drive shafting</p>			



VISTA ISOMÉTRICA



ITEM	DESCRICAÇÃO	QTD	MATERIAL
4.9	Motor MX-28	05	-
4.8	Motor MX-106T-31	05	-
4.7	Garra- Chapa IV	05	Alumínio
4.6	Garra- Chapa III	05	Alumínio
4.5	Roldana externa	05	Borracha
4.4	Roldana interna	05	Alumínio
4.3	Eixo Roldana	05	Alumínio
4.2	Garra- Chapa I	10	Alumínio
4.1	Suporte garra	05	Alumínio



Notes:
 1. All dimensions in mm
 Unidações em milímetros
 2. Dimensional tolerance
 Tolerância dimensional
 3. Central dimensioning
 Dimensionamento centralizado

Revisor: 0 Data: 07/09/2017
 Name: Julianna Santori
 Name: Marco Reis
 Name: N/A

Project: PhRo 2.1
 Drawing: A3
 Revision: X
 Date: 07/09/2017
 Name: Juliana Santori
 Name: Marco Reis
 Name: N/A

Comments:
 1. The original document is in Portuguese.
 2. Dimensional tolerance
 3. Central dimensioning

4

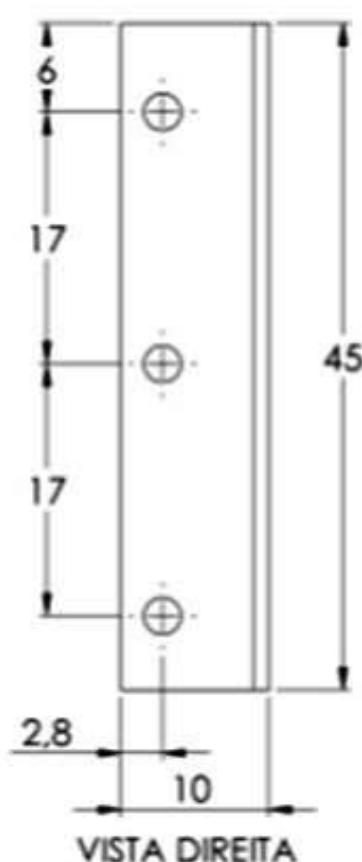
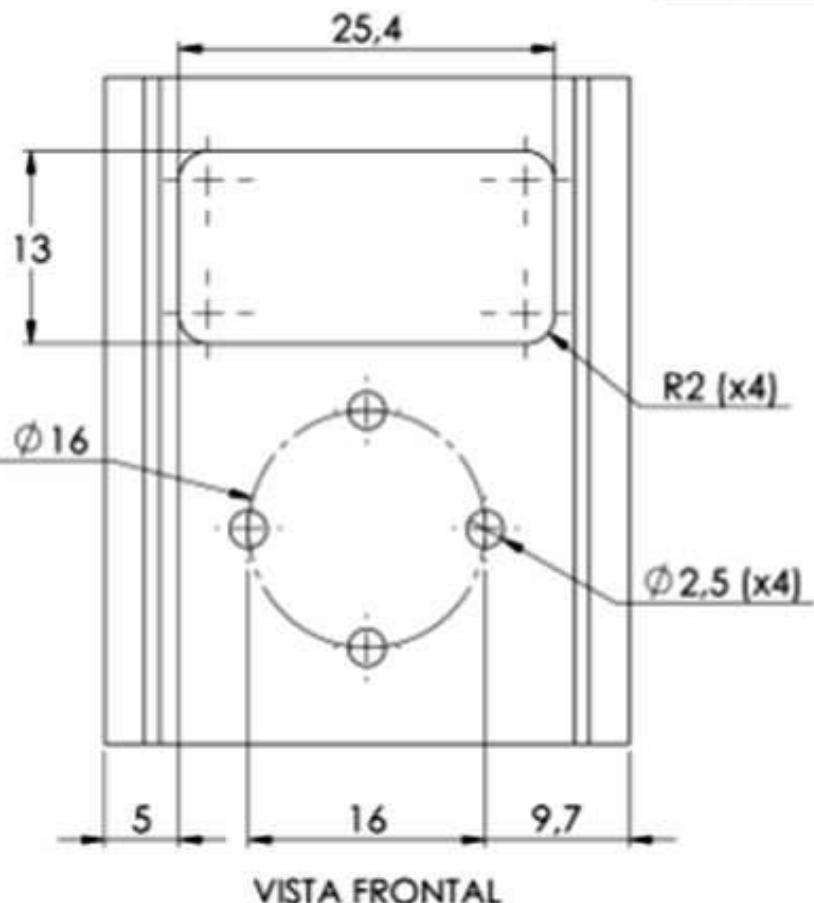
3

2

1

REV	DESCRIPTION	DRAW	DATE
0	Drawing elaboration	Juliana Sartori	07/09/2017

F



D

C

B

F

E

D

C

B

A

VISTA FRONTAL

VISTA DIREITA

VISTA INFERIOR

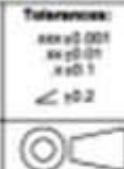


VISTA ISOMÉTRICA



Notes:
 1. All measurement in mm
 unless otherwise specified.
 2. Remove cutting edge
 3. Default finishing

Revisão:
0



Draw Title:

CONJUNTO ROLDANA ITEM 4.1

Scale: 2:1

Quantity: 05

Size: A4

Finishing:

Project:

Pj-Ro 2.1

Order:

Juliana Sartori

Aprov:

Marco Reis

Material:

Alumínio

ThermalT:

N/A

Page: 9/13

Date:

07/09/2017

THE INFORMATION IN THIS DOCUMENT CANNOT BE COPIED, GIVEN AWAY OR
USED FOR OTHERS MEANS EXCEPT THOSE CONTAINED IN THE CONTRACT TERMS.

4

3

2

1

4

3

2

1

REV	DESCRIPTION	DRAW	DATE
0	Drawing elaboration	Juliana Sartori	07/09/2017

F

F

E

E

D

D

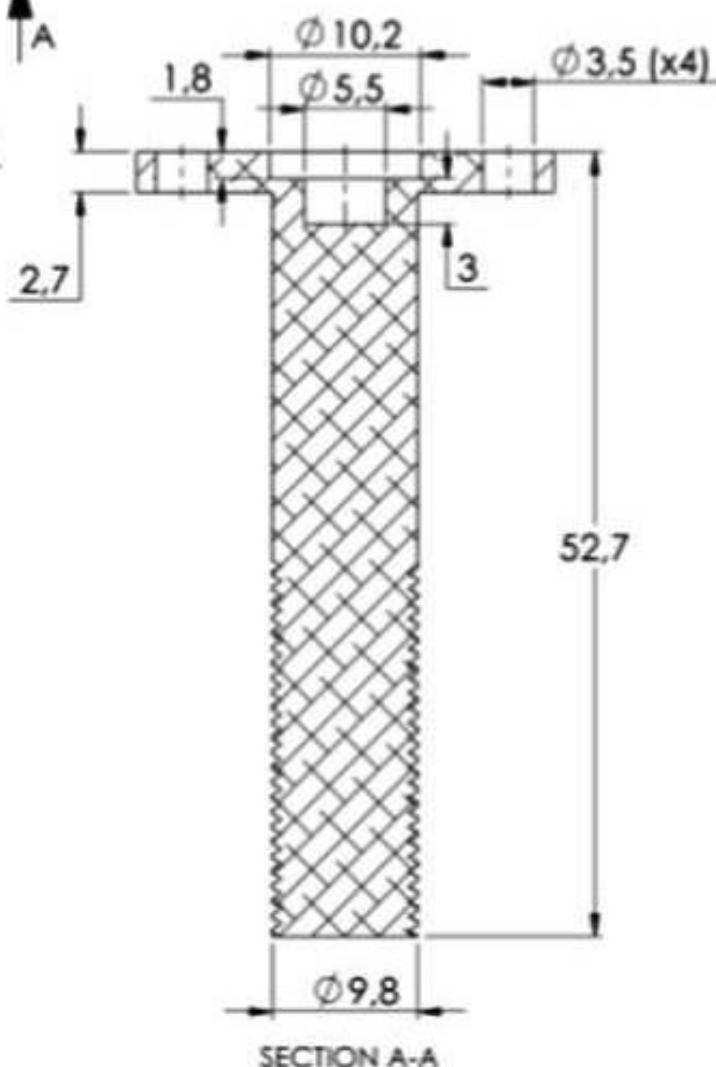
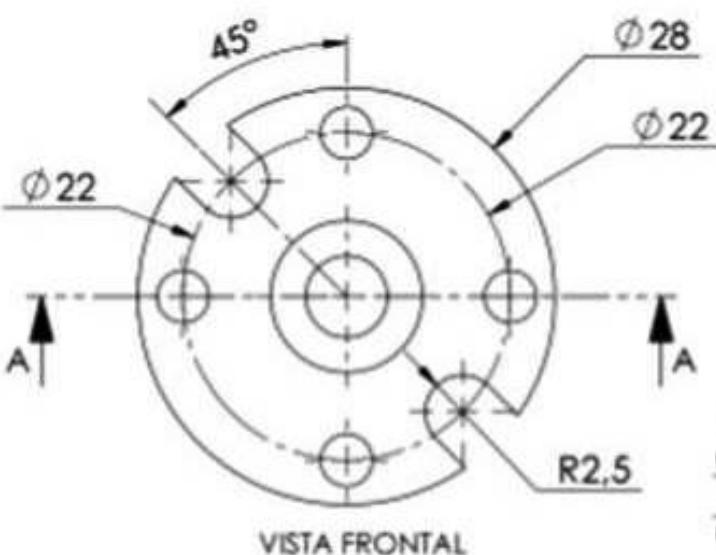
C

C

B

B

VISTA ISOMÉTRICA



SENAI SISTEMA
FIEB
Poderoso para Indústria do Estado de São Paulo

BR Brazilian Institute of
Robotics

Notes:
1. All measurement in mm
unless otherwise specified.
2. Remove cutting edge
3. Default finishing

Tolerances:
 ± 0.02 (0.019)
 ± 0.01
 ± 0.1
 ± 0.2

Reviewed:
0

Draw Title: CONJUNTO ROLDANA ITEM 4.3

Project: PI-Ro 2.1

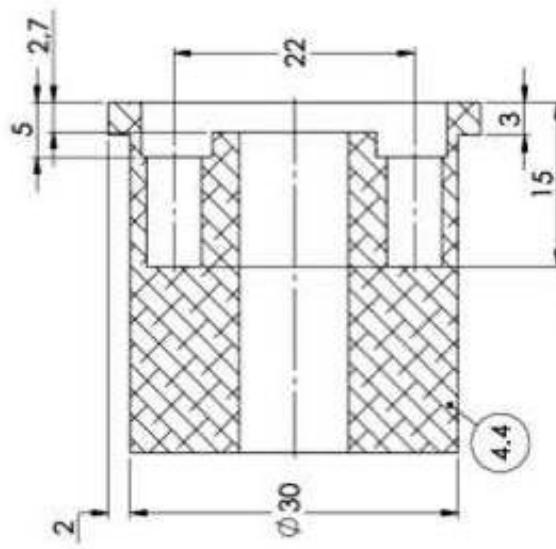
Draw: Juliana Sartori **Material:** Alumínio

Approved: Marco Reis **ThermalT:** N/A

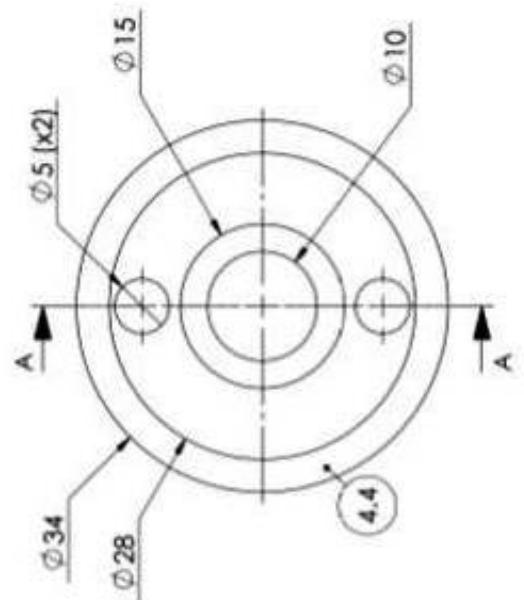
Date: 07/09/2017 **Page:** 10/13

THE INFORMATION IN THIS DOCUMENT CANNOT BE COPIED, GIVEN AWAY OR USED FOR OTHER MEANS EXCEPT THOSE CONTAINED IN THE CONTRACT TERMS.

REV	DESCRIPTION	DRAW	DATE
0	Drawing elaboration	Julianna Santori	07/09/2017



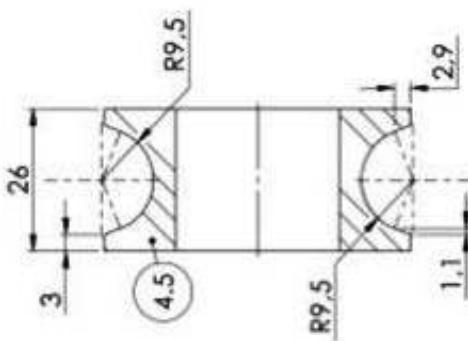
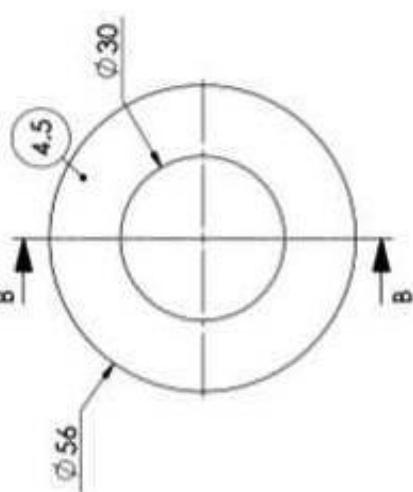
SECCION A-A



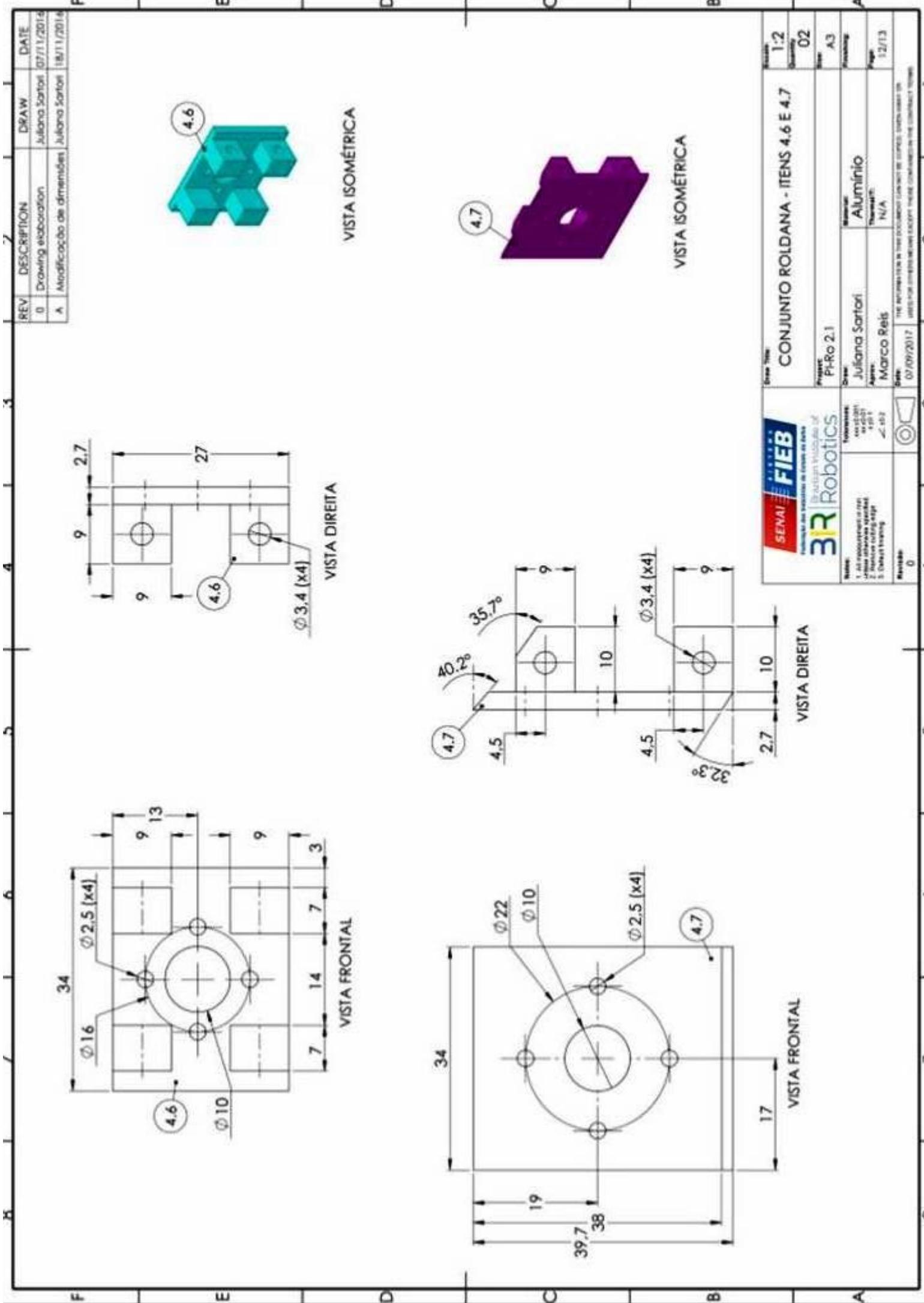
VISTA FRONTAL



VISTA ISOMÉTRICA

SECTION B-B
ESCALA 1:1VISTA
FRONTAL
ESCALA 1:1

Line No:	CONJUNTO ROLDANA	Sheet No:	2-1
Item No:	ITEM 4.4 E 4.5	Page No:	05
Project:	PhRo 2.1	Printed:	A3
Organization:	SENAI FIEB	Date:	17/11/13
Robotics:	Brazilian Institute of Science and Technology	Author:	Julianna Santori
Reviewer:	Marco Reis	Thermic:	N/A
Notes:	1. All dimensions in mm. 2. Material: GCR45. 3. Detail drawing.	Comments:	The information in this drawing sheet must be updated when the item is produced.
Reviewer:	N/A	Date:	07/09/2017



4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

C

B

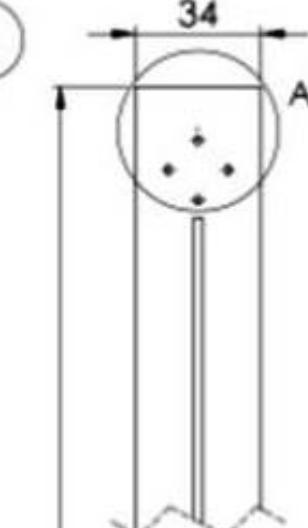
B

4

3

2

1



279

VISTA FRONTAL



240.8

2.7

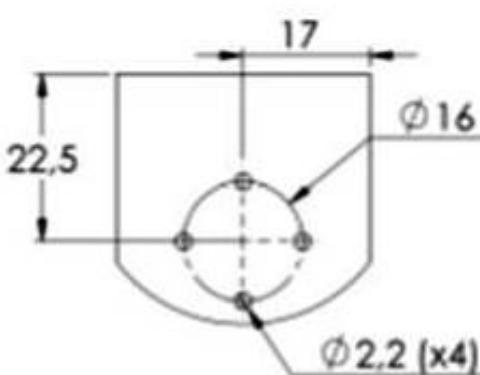
2.7

15.7

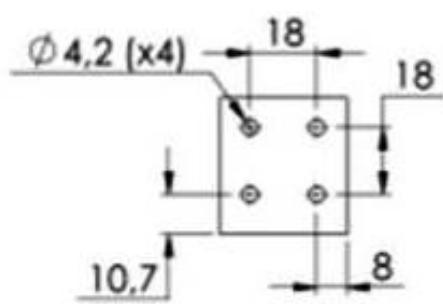
36.7

2.7

VISTA DIREITA

DETAIL A
SCALE 1 : 1

VISTA ISOMÉTRICA



VISTA INFERIOR



Notes:
 1. All measurements in mm unless otherwise specified.
 2. Remove cutting edges.
 3. Default finishing.

Revisor:
 0

Draw Title:

HASTE CENTRAL - ITEM 5

Scale:
1:2Quantity:
01Size:
A4Project:
PI-Ro 2.1Draw:
Juliana Sartori
Approve:
Marco ReisDate:
07/09/2017Material:
AlumínioThermalT:
N/AFinishing:

Page:
13/13THE INFORMATION IN THIS DOCUMENT CANNOT BE COPIED, GIVEN AWAY OR
USED FOR OTHERS MEANS EXCEPT THOSE CONTAINED IN THE CONTRACT TERMS.

Diagramas eletro-eletrônicos

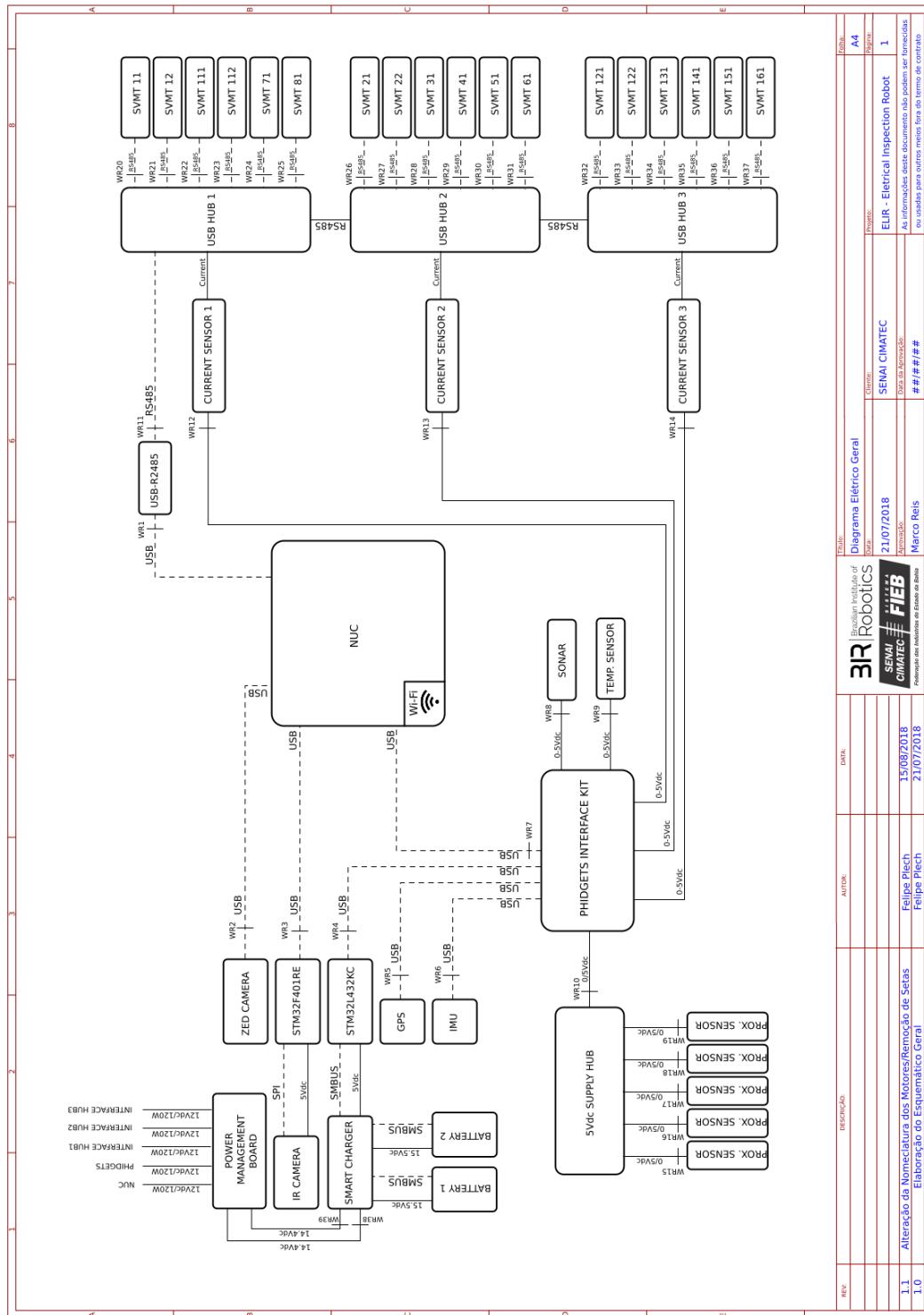


Figura C.1: Esquemático Geral

Ref.	DESCRICAO	AUTOR.	DATA.	Tipo:	Fonte:
				Diagrama Elétrico Geral	
				SENAI - SENATEC - FIEB	
				Marco Reis	
				15/05/2018	Automação
				21/07/2018	
					As informações deste documento não podem ser fornecidas
					ou utilizadas para outras finalidades fora do escopo de contrato.

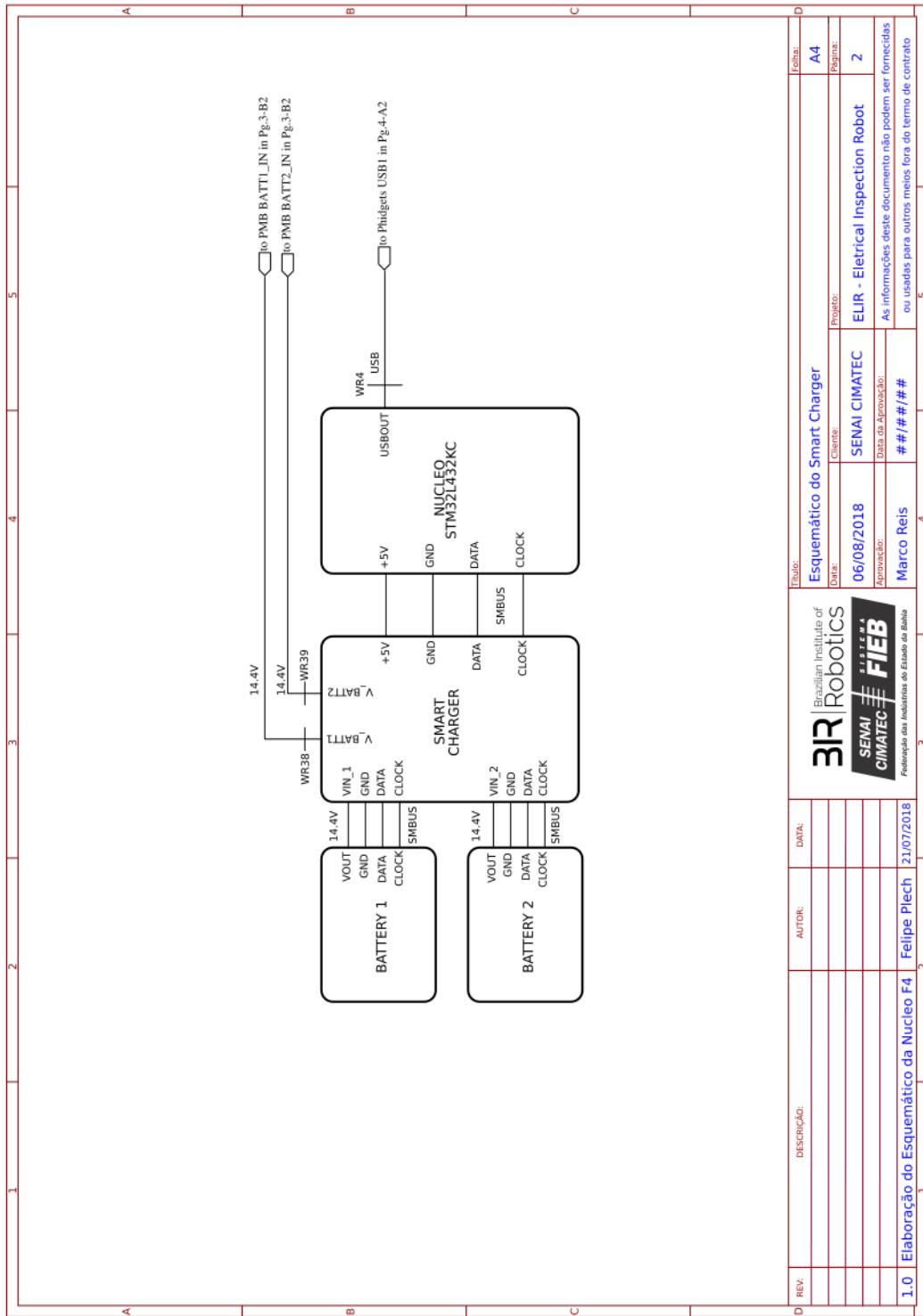


Figura C.2: Esquemático - Smart Charger

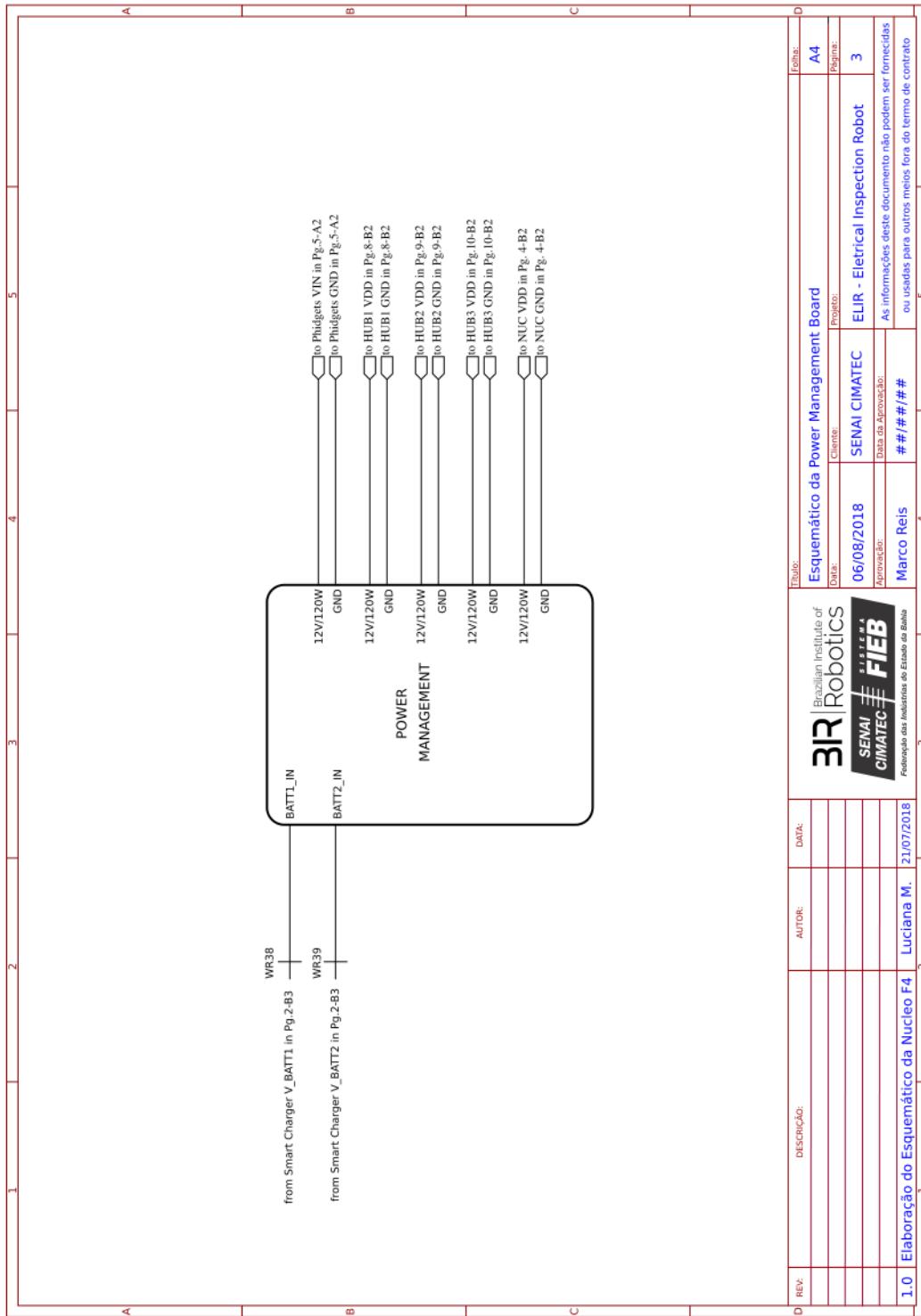


Figura C.3: Esquemático - Placa de Gerenciamento de Energia

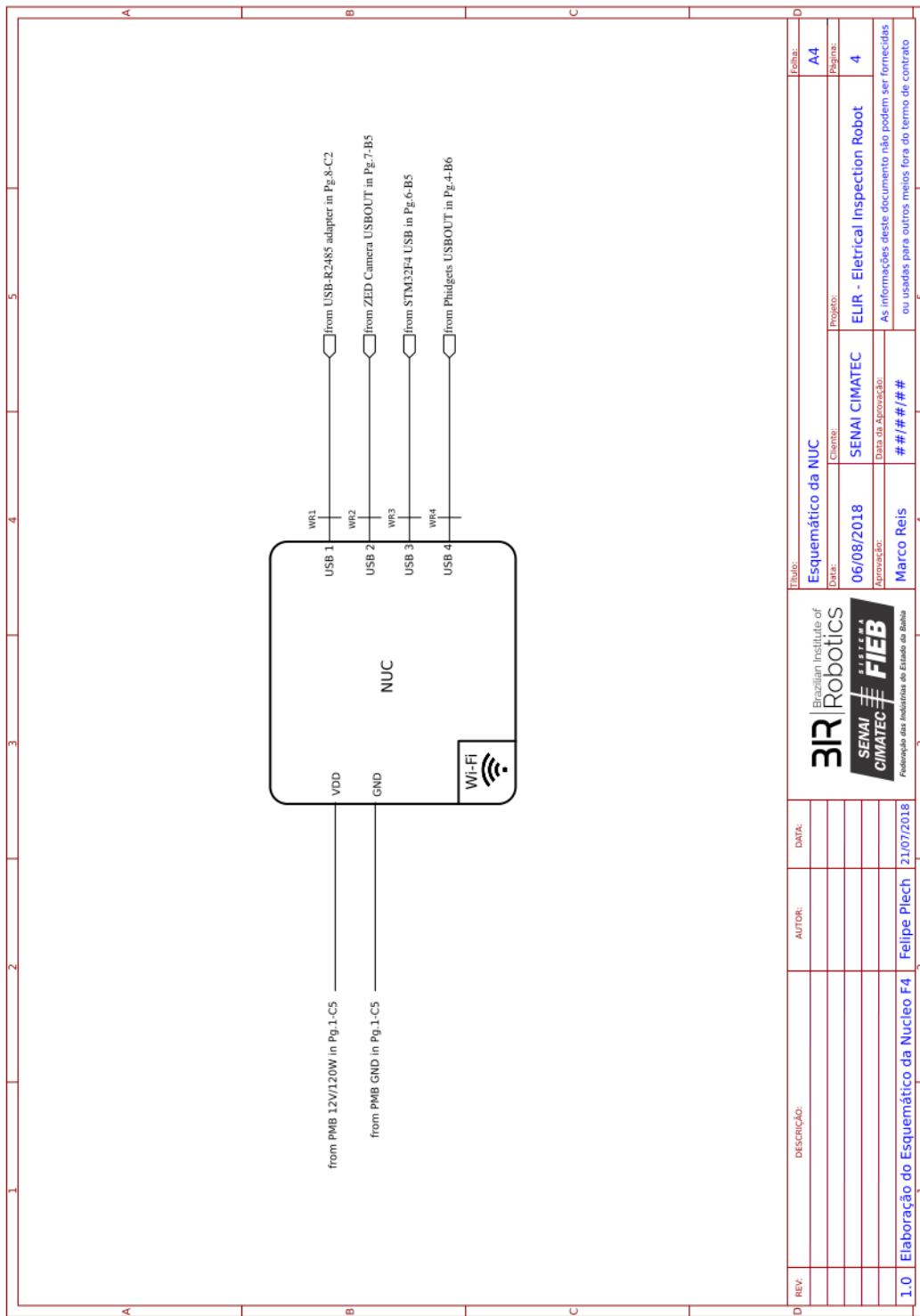


Figura C.4: Esquemático - NUC

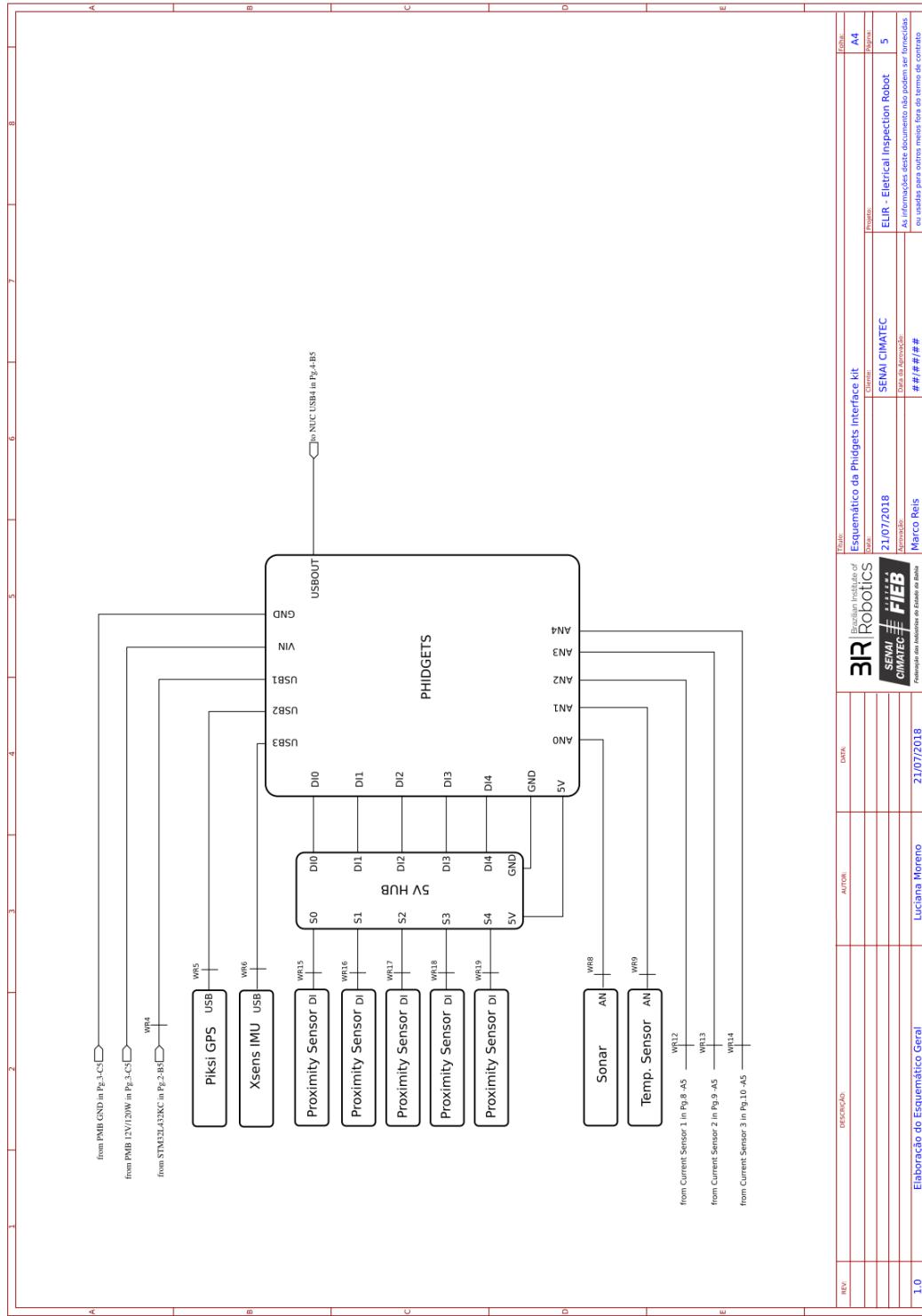


Figura C.5: Esquemático - Phidgets

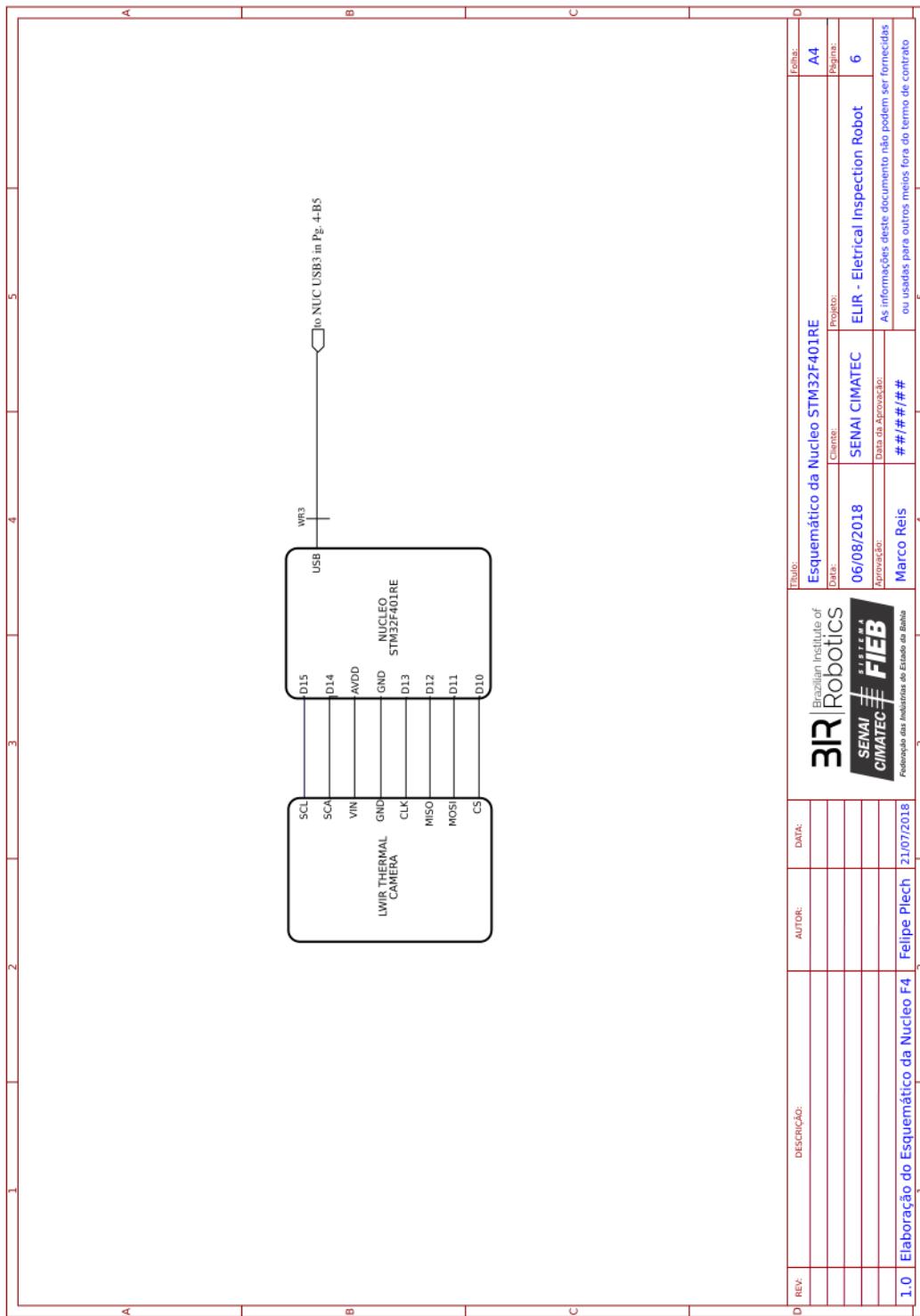


Figura C.6: Esquemático - STM32F401RE e FLIR LWIR Camera

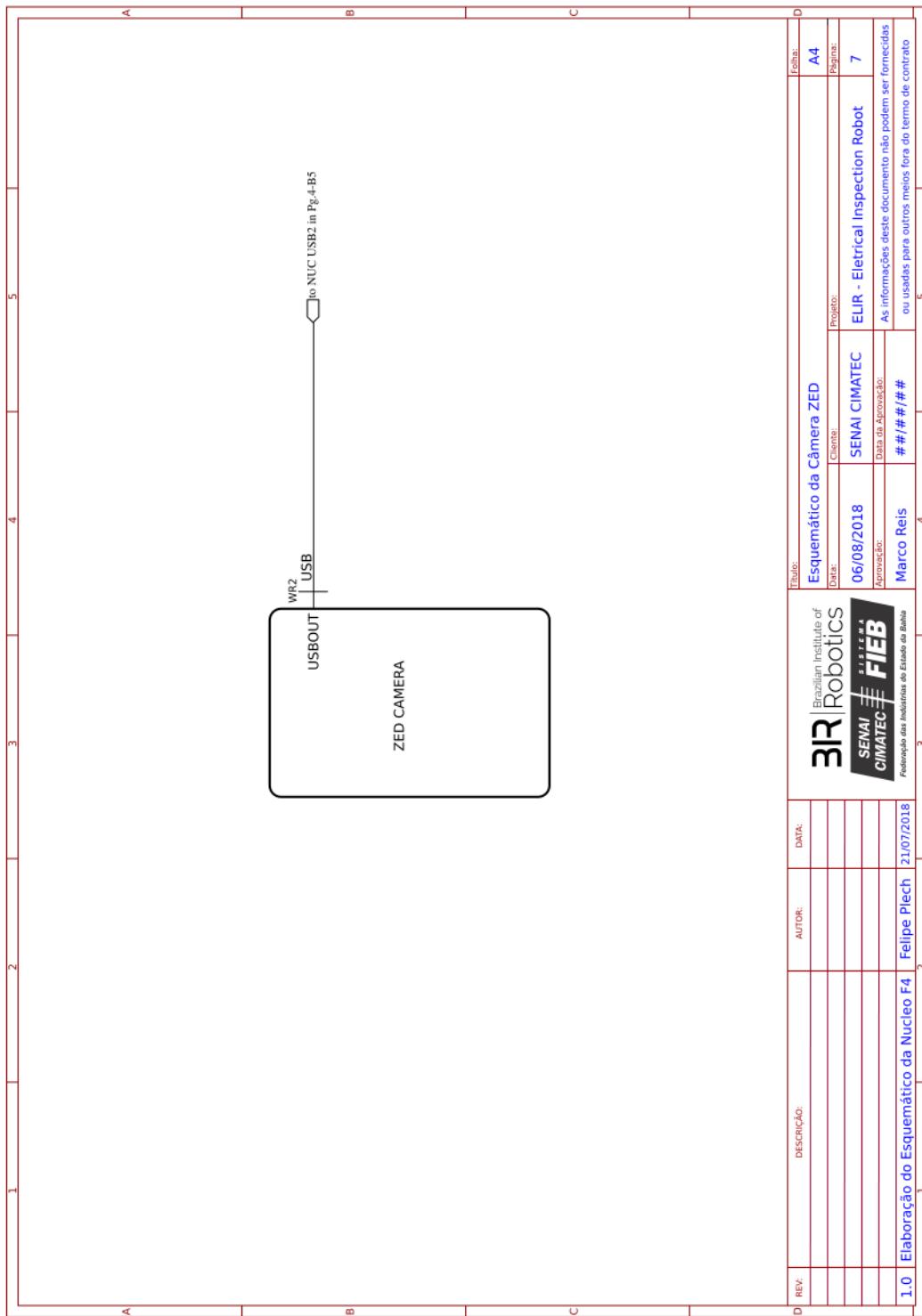


Figura C.7: Esquemático - ZED Camera

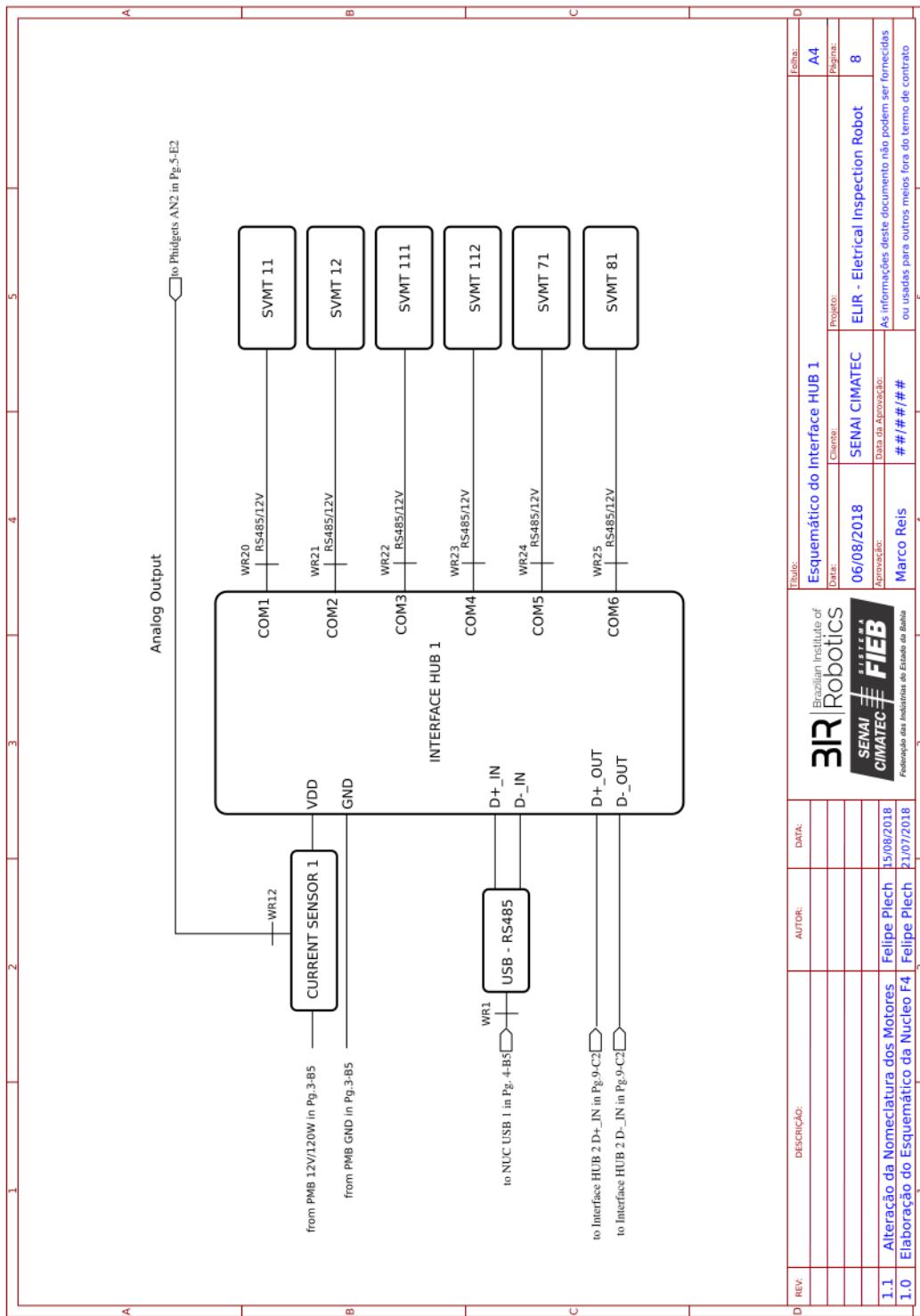


Figura C.8: Esquemático - HUB dos Atuadores 1

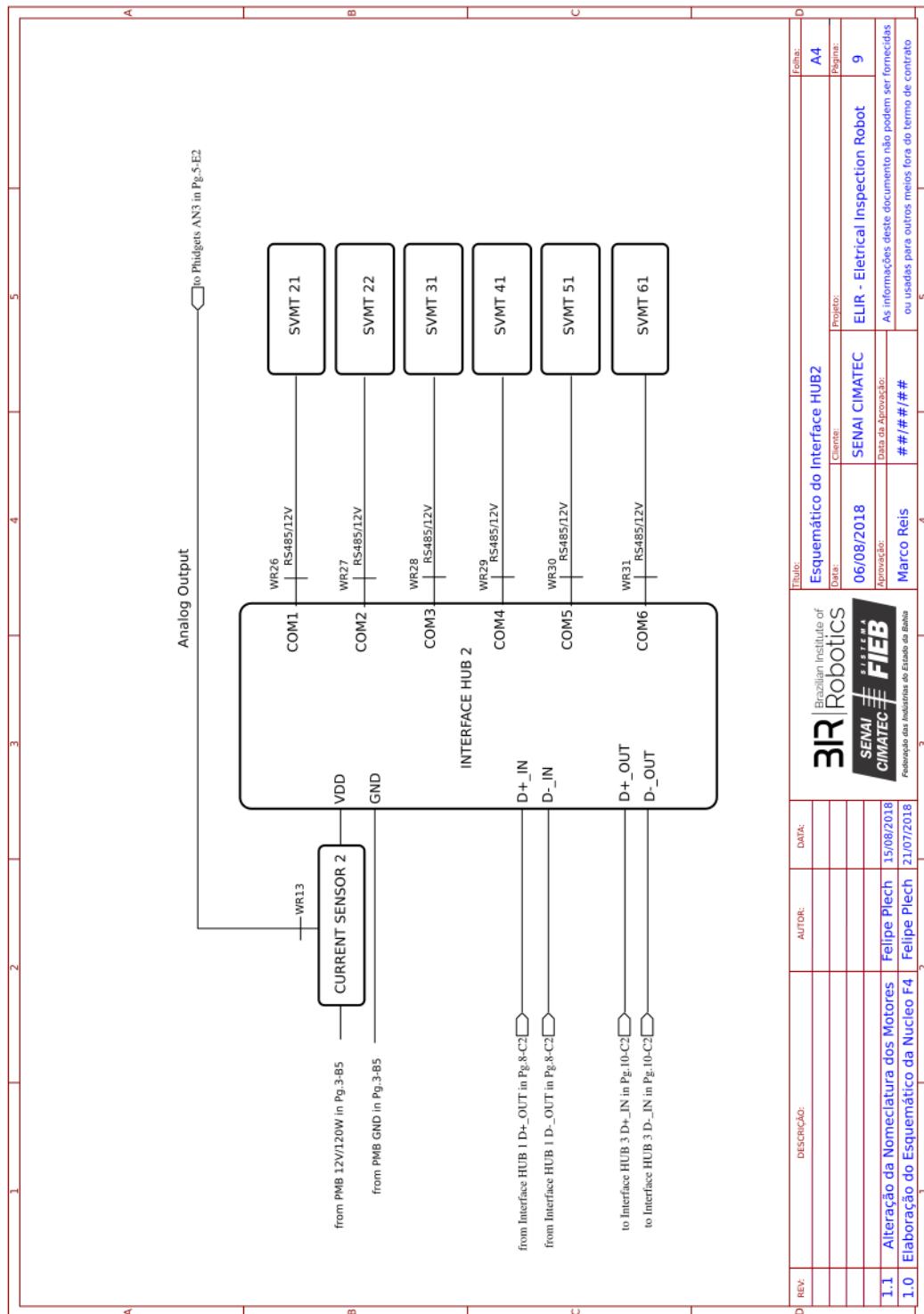


Figura C.9: Esquemático - HUB dos Atuadores 2

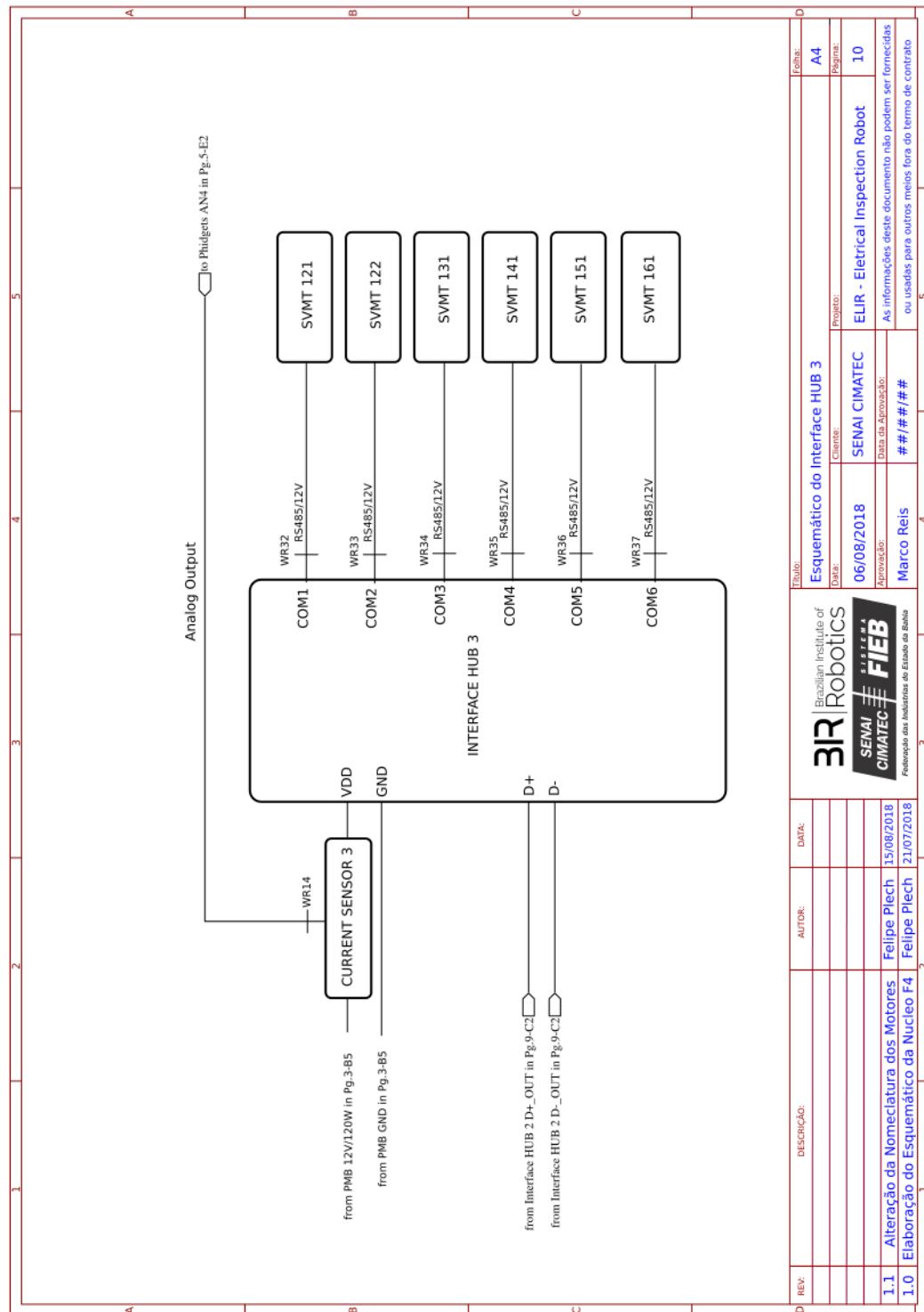


Figura C.10: Esquemático - HUB dos Atuadores 3

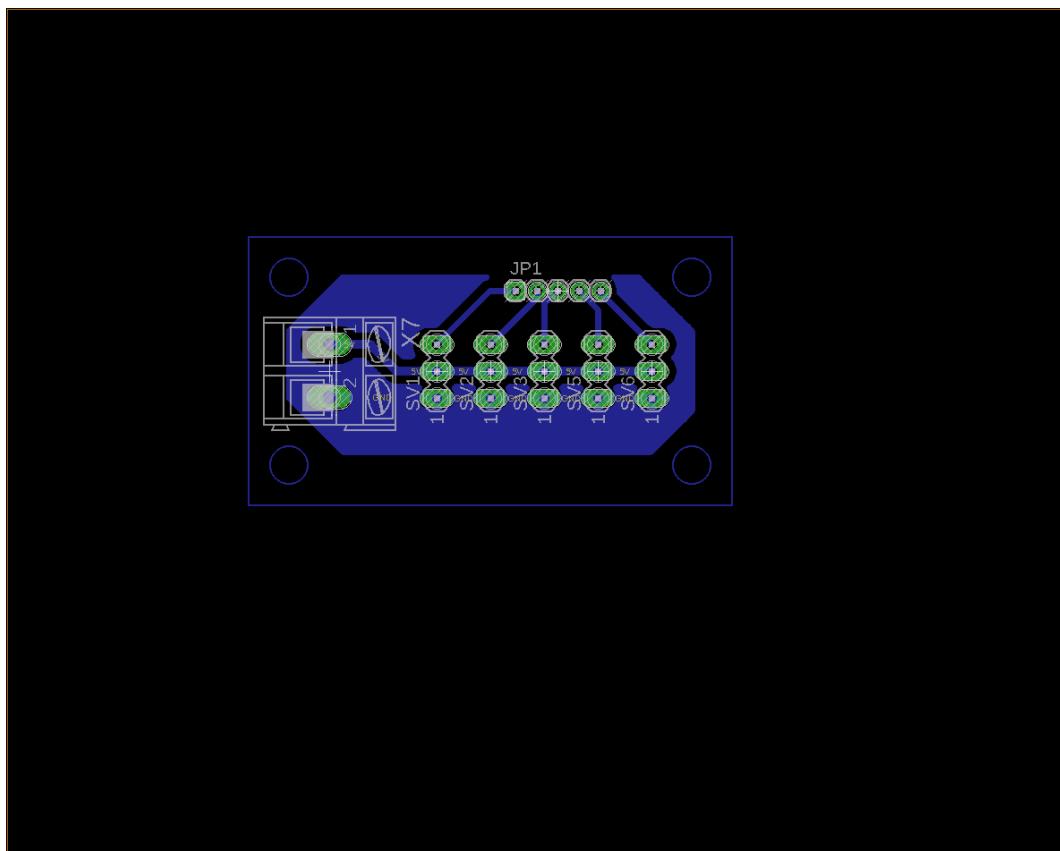


Figura C.11: Placa de Alimentação dos Sensores de Proximidade

Wireframes

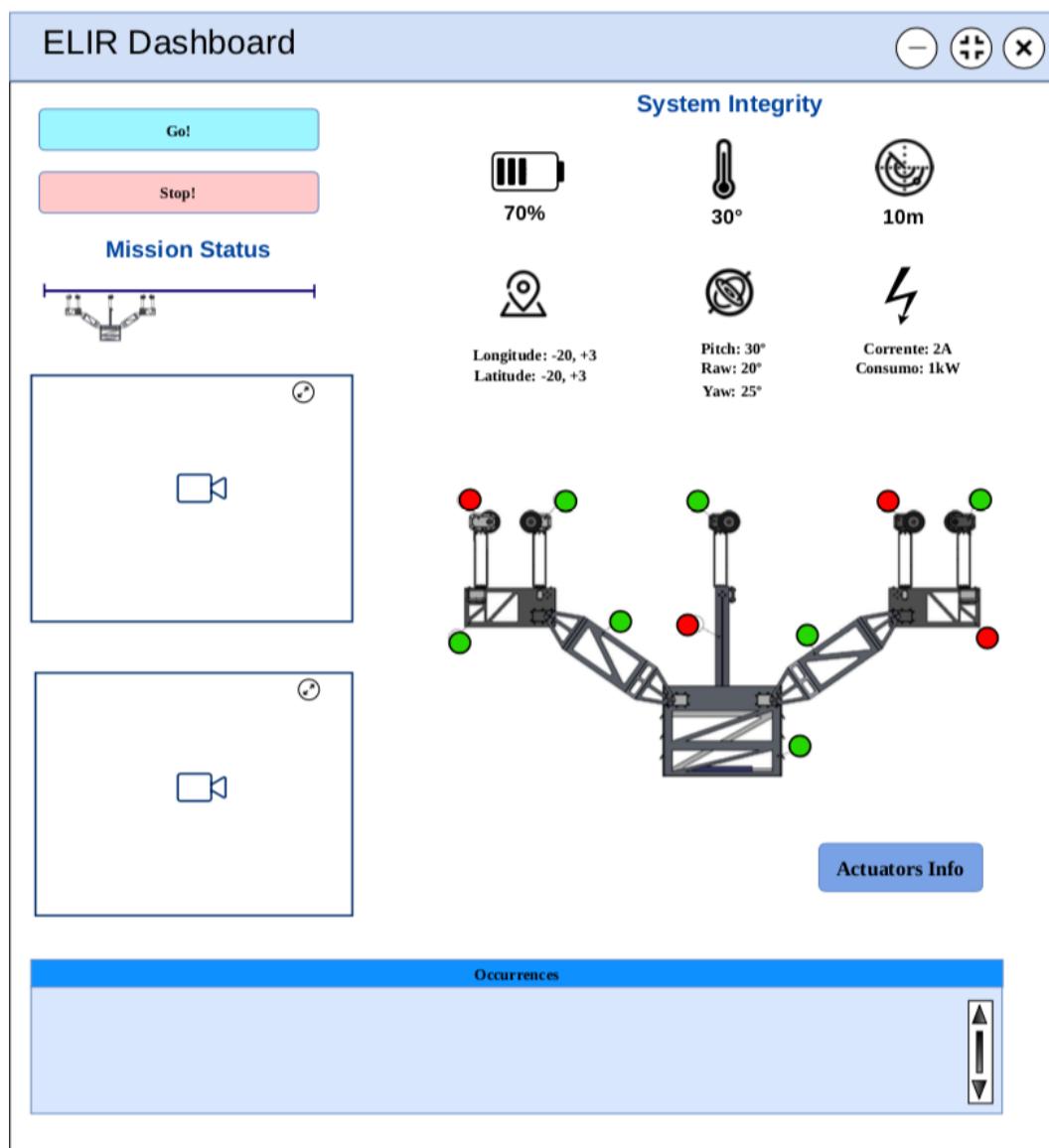


Figura D.1: Dashboard - Main page

Actuators Info			
	Current	Voltage	Temperature
 HUB1 3A	SVMT 11	2 A	2.5 A
	SVMT 12	5 A	2 A
	SVMT 111	4.3 A	1 A
	SVMT 112	2 A	3 A
	SVMT 71	1 A	15 A
	SVMT 81	4 A	6 A
 HUB2 3A	SVMT 21	2 A	2.5 A
	SVMT 22	5 A	2 A
	SVMT 31	4.3 A	1 A
	SVMT 41	2 A	3 A
	SVMT 51	1 A	15 A
	SVMT 61	4 A	6 A
 HUB3 3A	SVMT 121	2 A	2.5 A
	SVMT 122	5 A	2 A
	SVMT 131	4.3 A	1 A
	SVMT 141	2 A	3 A
	SVMT 151	1 A	15 A
	SVMT 161	4 A	6 A

Figura D.2: Dashboard - Actuators Info Page

Logbook

Lista de componentes

ELIR project - BILL OF MATERIAL

\$3.60

Referências Bibliográficas

- ADABO, G. J. Long range unmanned aircraft system for power line inspection of brazilian electrical system. 2014. [1](#)
- CABELLO, F. A. C. Contribuições à detecção automática de pontos quentes em postes de energia elétrica usando o algoritmo bag of visual words e métodos de kernel. 2016. [1](#)
- FILHO, J. M. *Manual De Equipamentos Elétricos*. São Paulo: LTC, 2005. [1](#)
- FITZPATRICK, P. *Perception and Perspective in Robotics*. Cambridge, MA, 2003. [2](#)
- GYVER, M. M. et al. *LeptonModule - Nucleo F401RE Driver*. Santa Barbara: [s.n.], 2017. Disponível em: <https://github.com/groupgets/LeptonModule>. [4.1.1](#)
- MICHAELIS. *Percepção*. 2004. URL: <http://michaelis.uol.com.br>. [2](#)
- OLIVEIRA, W. F. L. Vinícius Menezas de. Comparação entre duas classes de robôs bracejadores subatuados utilizando controle preditivo baseado em modelo. VIII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, 2007. [1.2](#)
- RANGEL, R. K.; KIENITZ, K. H.; BRANDÃO, M. P. Sistema de inspeção de linhas de transmissão de energia elétrica utilizando veículos aéreos não-tripulados. Sep, 2009. [1.2](#)
- THORPE, C. et al. *Dependable Perception for Robots*. [S.l.], 2003. [2](#)
- TRANZATTO, M. et al. *ethz_piksi_ros*. Zurique: [s.n.], 2018. Disponível em: <https://github.com/ethz-asl>. [4.2.4](#)

Percepção e suas funcionalidades para robô de inspeção em linhas de alta tensão

Luciana Moreno Borges
Felipe Cafezeiro Plech

Salvador, Novembro de 2018.